ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 27 JUIN 1960.

PRÉSIDENCE DE M. LOUIS HACKSPILL.

NOTICES NÉCROLOGIQUES.

Notice nécrologique sur ANDRÉ DUPARQUE, *Correspondant de l'Académie,*

par M. **PIERRE PRUVOST**. (*)

Avec **ANDRÉ DUPARQUE**, décédé à Lille, le 11 juin 1960, disparaît, dans sa 68e année, le pétrographe français qui, s'étant consacré à l'étude des charbons, nous a révélé le mécanisme de leur dépôt et de leurs transformations au cours des temps géologiques.

Sa carrière s'est entièrement accomplie à Lille, où il est né le 11 octobre 1892. C'est après y avoir obtenu la licence en droit, qu'il vint aux études scientifiques, entra à la Faculté des Sciences en 1919 comme Assistant d'abord (on disait alors Préparateur), puis comme Maître de conférences en 1932 et Professeur titulaire en 1937. En 1950 il m'y succéda à la fois dans la chaire de Géologie et à la Direction de l'Institut de la Houille de l'Université.

Que la houille soit une roche formée aux dépens de substances végétales, personne ne doutait. Mais, il y a 40 ans, à l'époque où André Duparque en aborda l'étude, la nature intime du charbon demeurait enveloppée d'un certain mystère. Cette roche se dérobait alors à nos procédés courants d'investigation. L'analyse chimique n'avait pas encore acquis le doigté suffisant et ignorait encore les méthodes indirectes qui lui eussent permis de dévoiler sans la heurter la structure intime de la houille. Elle était

incapable d'isoler sans les détruire les constituants fragiles dont le charbon est un mélange. Et les méthodes habituelles de la pétrographie avaient échoué devant l'opacité impénétrable de cette roche, quand on tentait d'en scruter la texture par l'examen de lames minces au microscope.

On distinguait bien, depuis 1887, avec Henri Fayol, quatre types de lits de houille, d'après leur éclat mat ou brillant, et Mary Stopes les avait nommés : fusain, clairain, durain et vitrain. Mais on balbutiait sur la nature, l'origine et la structure de ces constituants. Dans ce champ d'incertitudes s'était installée une broussaille de théories séduisantes et contradictoires, où s'acharnaient les moissonneurs de deux écoles opposées, celles de l'origine autochtone et de l'origine allochtone de la houille. Faute d'observations de base, la connaissance du charbon piétinait sans progresser.

A ce moment cependant, une technique nouvelle d'analyse microscopique, conçue depuis une dizaine d'années par Henri Le Chatelier, permettait précisément d'explorer les corps opaques que sont les métaux, par l'examen en lumière réfléchie de leur surface préalablement polie. Notre regretté confrère Charles Barrois, qui cherchait un champ de travail pour son élève André Duparque, eut le grand mérite de faire à cette méthode un large crédit, après qu'en 1923, C. A. Seyler eut tenté pour le charbon un premier essai dans cette voie. Le Laboratoire de Géologie de Lille, que Ch. Barrois avait équipé pour étudier les gisements charbonniers, fut doté du matériel métallographique nécessaire et André Duparque, après un patient apprentissage dans des laboratoires spécialisés, en particulier, ceux créés par Léon Guillet pour les recherches métallographiques, s'employa à appliquer la méthode de Le Chatelier au charbon.

Ceci exigeait une mise au point délicate, car la houille ne se laisse point polir comme un métal. Un poli parfait, facile à obtenir, y fait disparaître toute trace de structure. L'attaque chimique de la surface polie, utilisée pour les métaux, provoque, dans une substance aussi altérable, des structures artificielles. Enfin, il fallait éviter les stries parasites que les abrasifs les plus fins laissaient sur une matière aussi tendre.

André Duparque, après de longs tâtonnements, a résolu cette triple difficulté par un procédé ingénieux : pour obtenir le polissage « en bas relief » faisant apparaître en lumière réfléchie les corps figurés de la houille, il proposa d'utiliser l'action abrasive de la poussière du charbon lui-même. Mais il faut surveiller l'opération, afin d'éviter qu'un poli spéculaire trop parfait n'abolisse les contours des éléments constituants.

Cette méthode « d'auto-usure sélective » donne la garantie de ne faire apparaître que la structure authentique du charbon. C'est elle que, patiemment, en l'espace de 15 années, A. Duparque a préconisée, mise au point et appliquée. De 1924 à 1940, une centaine d'articles publiés par la Société géologique du Nord, la Société géologique de France, la Société de l'Industrie minérale ont consigné les résultats qu'il obtenait.

Dans la suite il a porté ses investigations ou guidé les travaux de nombreux élèves français et étrangers sur tous nos bassins houillers, puis sur un très grand nombre de charbons européens et même sur les houilles d'Asie et d'Afrique. Mais son gros œuvre est le Mémoire, paru en 1934, sur la *Structure microscopique des charbons du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais*, que publia la Société géologique du Nord. Il comporte un atlas de 330 remarquables microphotographies, qui, avec le texte explicatif, offre à la méditation du lecteur une extraordinaire richesse de documentation. Et ces observations ont orienté et modifié les idées courantes sur la façon dont les charbons se sont formés.

Alors qu'on les avait comparés à la tourbe de nos plateaux humides, où les végétaux s'accumulent à l'endroit même où ils ont vécu, édifiant sur place la couche de combustible, l'étude microscopique a démontré qu'il s'agit d'un sédiment végétal, finement classé par les eaux au cours d'un transport de leurs débris dans un bassin de décantation. Sur la longue controverse qui opposait les tenants de la théorie de l'autochtonie, à ceux qui, avec Henri Fayol, avaient dit que la houille était une alluvion végétale (théorie des deltas ou de l'allochtonie), M. Duparque a projeté la lumière que seules pouvaient donner des observations incontestables.

Nous savons maintenant que la nature, dont les procédés sont moins simples que ce que nous imaginons *a priori*, a utilisé pour élaborer le charbon, d'une part, une forêt bien autochtone, dont les sols de végétation fossiles apportent la preuve qu'elle a occupé les lieux à un moment donné; mais, d'autre part, cette forêt a été détruite par une inondation qui en a dispersé les débris sur la vaste étendue d'une lagune, loin des lieux où les arbres ont vécu. La couche de houille est le résultat de cette double opération. L'envahissement par la couverture végétale, puis sa destruction par submersion, sont des phénomènes alternatifs qui se sont répétés autant de fois qu'il y a de veines de charbon dans un bassin houiller.

Analysant la nature des débris végétaux, A. Duparque a distingué deux types de charbons fossiles. Les uns sont formés de morceaux de bois et de sclérenchyme, il les a appelés les *houilles ligno-cellulosiques*; les autres sont faits des minces cuticules des feuilles ou des spores des végétaux houillers et il les a appelés les *houilles de cutine*. Toutes ces épaves sont disposées en fines stratifications, baignées dans une gelée d'apparence amorphe aux grossissements du microscope optique, qui est le vitrain, produit de la liquéfaction des autres substances végétales plus fermentescibles.

Mais une même couche de houille passe latéralement du premier type à l'autre et A. Duparque, partant de cette idée que les feuilles et les pollens ont dû flotter plus longtemps, donc plus loin, que les débris ligneux, en a déduit que les charbons ligno-cellulosiques se formaient près du rivage

de la lagune, les houilles de cutine plus au large. Ainsi, l'étude de leur répartition lui permit de reconstituer les contours du bassin de dépôt originel. De la pétrographie pure, il en arrivait à la reconstitution du paysage disparu.

D'autre part, il existe une dépendance étroite entre les caractères pétrographiques du charbon et sa composition chimique, par conséquent ses qualités commerciales : les houilles flambantes, contenant plus de 26 % de matières volatiles, sont précisément des houilles de cutine, tandis que les charbons à coke correspondent aux houilles ligno-cellulosiques : leur pyrogénation fournit beaucoup de phénols, corps de structure chimique apparentée à la lignine, et la qualité d'un coke est fonction d'un mélange convenable de vitrain, qui lui confère son pouvoir agglutinant, et de fusain auquel il devra sa porosité.

Ainsi, par ses patientes études, A. Duparque a pu faire d'une seule pierre deux coups : il a fourni aux géologues des données précises leur permettant de mieux comprendre la genèse des gisements houillers et aux techniciens, des applications inattendues de la pétrographie à la mise en valeur des charbons et de leurs sous-produits. Et si, par exemple, à l'heure actuelle, la production du coke métallurgique en France parvient à se libérer de plus en plus de l'importation de charbons à coke étrangers, en augmentant le pouvoir cokéfiant des charbons de Lorraine au moyen de mélanges judicieusement étudiés, le point de départ de cette libération de notre pays sur le plan économique est notre meilleure connaissance des constituants de la houille, due aux travaux de A. Duparque.

Notre Académie a souligné ce succès, d'abord en décernant son Prix H. Wilde (1934) au savant lillois, puis en l'élisant Correspondant pour sa Section de Géologie en 1957.

André Duparque, homme paisible, délicat et foncièrement bon, mais qui s'était donné exclusivement, avec une inflexible discipline, à sa recherche et à sa tâche enseignante, avait trouvé l'épouse compréhensive qui s'ingéniait à créer autour de lui, avec un grand esprit de sacrifice, l'ambiance favorable aux exigences du savant. Il avait vu disparaître, il y a quelques mois, cette compagne idéale, et il n'a pu survivre à cette détresse.

La science française et notre Académie perdent en lui un savant dont la renommée demeurera grande chez nous et à l'étranger, pour avoir fait franchir une étape décisive à nos idées sur la genèse et la nature des charbons. De plus il nous a dotés des bases solides sur lesquelles la route est désormais ouverte et tracée pour une investigation plus pénétrante encore, au moyen des techniques nouvelles.

(*) Séance du 20 juin 1960.

CORRESPONDANCE, OUVRAGES PRÉSENTÉS OU REÇUS.

M. **John Hasbrouck Van Vleck**, élu Correspondant pour la Section de Physique, adresse ses remercîments à l'Académie.

M. **André Lallemand** prie l'Académie de bien vouloir le compter au nombre des candidats à la place vacante, dans la Section d'Astronomie, par la mort de M. *Georges Darmois*.

L'Académie est informée de la création, à la Faculté des sciences de l'Université d'Aix-Marseille, d'un **Institut de mécanique statistique de la turbulence.**

M. **Louis de Broglie** fait hommage à l'Académie d'un Ouvrage intitulé : *Sur les sentiers de la science*, édité par la Maison Albin Michel dans la collection *Les savants et le monde*, dirigée par M. André George. Cet Ouvrage contient des notices académiques, des discours, des conférences et des articles publiés depuis une dizaine d'année.

M. **Jacques Bourcart** présente trois Cartes, dont deux rédigées par lui, de la topographie sous-marine de la Méditerranée au 1/200 000e environ, entre le Rhône et Gênes. La troisième, dressée sous sa direction, est un essai de carte au 1/1 000 000e de la topographie profonde de l'ensemble de la Méditerranée occidentale.

M. **Hans Stille** adresse en hommage un Ouvrage intitulé : *Geotektonisches Symposium zu Ehren von Hans Stille*, herausgegeben von Franz Lotze, et une collection de tirages à part de ses travaux de géologie.

L'Ouvrage suivant est présenté par M. **Jacques Bourcart** :

Gilbert Boillot. *La répartition des fonds sous-marins au large de Roscoff* (*Finistère*), avec une *Carte de la répartition des fonds sédimentaires et rocheux au large de Roscoff*, au 1/45 260e environ.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

1° Commissariat à l'énergie atomique. *Radiolyse des solutions aqueuses de plutonium*, par Monique Pagès, née Flon (Thèse, Paris).

2° Academia nacional de ciencias (Cordoba, Argentina). *Homenaje a Alexander von Humboldt en el centenario de su muerte.*

3° E. Scott Barr. *Anniversaries in 1960 of interest to physicists.*

4° *Die Rudimentation. Eine monographische Studie*, von Ingo Krumbiegel.

5° Moscow Society of natural history. Section of the history of natural sciences. *Annals of biology* (*Annaly biologii*), vol. I (To the memory of Charles Darwin) (en langue russe).

6° Académie des sciences de l'U. R. S. S. Astronomitcheskiï sovet. *Izvestija komissii po fizike planet*, Vypusk 1.

7° Poznanskie towarzystwo przyjaciol nauk (Société des amis des sciences de Poznan). Wydzial nauk technicznych. *Prace komisji nauk podstawowych stosowanych.* Tom 1, zeszyt 1. (*Travaux de la section des sciences fondamentales appliquées*).

8° National Academy of sciences (Washington). National research Council. *IGY world data center A. Rockets and Satellites.*

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

HYDRAULIQUE. — *Surpression dans le cas d'une cheminée d'équilibre recevant un débit d'apport au-dessus de l'étranglement.* Note de (*) MM. **Léopold Escande** et **Jean Claria.**

1. Dans un travail antérieur [1], nous avons étudié une cheminée d'équilibre à étranglement pouvant recevoir directement, au-dessus de celui-ci. un débit d'apport $Q_a = q_a Q_0$, le débit total des turbines étant Q_0.

Considérant une fermeture totale instantanée du débit Q_0, nous avons envisagé deux cas, selon que le débit d'apport existe ou non.

Nous avons montré que la plus forte pression initiale correspond au second cas (apport nul) avec la valeur $y''_0 = r_0 - p_0$ cependant que la montée maximale, de cote z'_m, correspond au premier (apport q_a) et nous avons défini l'étranglement optimal par la condition

$$y''_0 = r_0 - p_0 = z'_m.$$

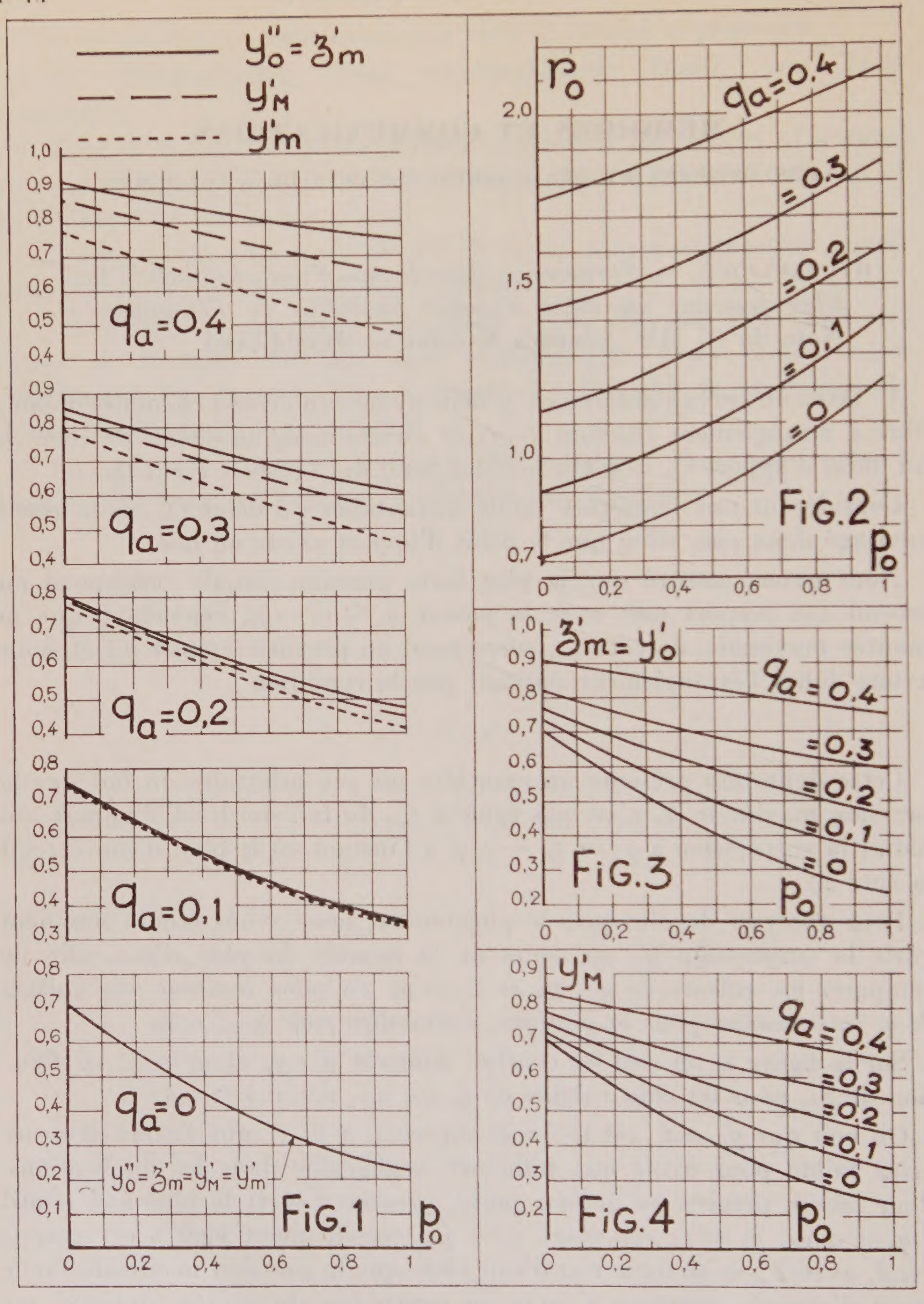
Cette définition présente un caractère un peu arbitraire du fait que la pression maximale y'_M n'est pas égale à z'_m, du fait du débit d'apport qui réduit la surpression à $y'_m = z'_m - r_0 q_a^2$ à l'instant où le plan d'eau atteint la cote z'_m.

Pour analyser de plus près le phénomène, nous avons étudié comment varie la surpression y', au cours de la montée du plan d'eau, afin de comparer les valeurs de y'_m, y'_M et $z'_m = y''_0$ en nous *limitant aux valeurs de q_a intéressantes pour la pratique, c'est-à-dire pour $q_a \leq 0{,}40$.*

Sur la figure 1, on voit les courbes donnant y'_m, y'_M et $y''_0 = z'_m$ en fonction de p_0, pour les cinq valeurs de q_a : 0, 0,1, 0,2, 0,3 et 0,4.

On voit que $y''_0 = z'_m$ est toujours supérieur à y'_M et que l'écart demeure assez faible pour avoir une influence négligeable dans les applications. Pour mieux préciser ce dernier point, prenons l'écart le plus fort relatif à $q_a = 0{,}40$; $p_0 = 1$; cet écart $z'_m - y'_M$, sensiblement égal à 0,1 correspond, avec $Z_* = 10$ m, à 1 m d'eau alors que la pression maximale sur le canal d'amenée, supposé à 10 m en contre-bas du niveau statique, est alors de 16,40 m.

On voit donc que la définition donnée pour l'étranglement optimal est rationnelle, pour les valeurs pratiques de q_a, inférieures à 0,40, la pression initiale la plus forte $y''_0 = r_0 - p_0 = z'_m$ étant très légèrement supérieure au maximum relatif y'_M atteint au cours de l'oscillation.



2. Il peut être intéressant de considérer également le cas où la fermeture complète instantanée avec débit d'apport nul ne doit pas être envisagé.

Dans une telle circonstance, par analogie avec l'étude précédente, nous sommes conduit à définir l'étranglement optimal à la fermeture comme celui qui donne une surpression initiale y'_0 égale à la montée maxi-

male z'_m du plan d'eau :

$$y'_0 = r_0[q_a^2 + (1 - q_a)^2] - p_0(1 - q_a)^2 = z'_m.$$

Pour les valeurs de q_a comprises entre 0 et 0,40 et pour les valeurs de p_0 comprises entre 0 et 1, nous avons cherché, par tâtonnements, l'étranglement optimal r_0 ainsi défini.

Nous avons étudié, simultanément, les variations de la surpression y' et mis en évidence les maximums relatifs y'_M.

Les abaques des figures 2, 3 et 4 donnent, en fonction de p_0 et de q_a les valeurs de l'étranglement optimal r_0, de $z'_m = y'_0$ et de y'_M.

On voit que z'_m demeure toujours supérieur à y'_M, avec un écart assez faible pour que la définition adoptée se trouve justifiée.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 701.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

PRÉSENTÉS OU TRANSMIS PAR LES MEMBRES ET CORRESPONDANTS.

LOGIQUE MATHÉMATIQUE. — *Nouvelle formalisation du calcul propositionnel bivalent dont les foncteurs primitifs forment un ensemble qui constitue son propre dual.* Note (*) de M. **Alan Rose**, présentée par M. Louis de Broglie.

L'objet de cette Note est de formaliser le calcul propositionnel bivalent ayant comme foncteurs primitifs [1] H, *t*, *f* de telle sorte que la négation du dual de chaque axiome et la duale de chaque règle de déduction soient facilement dérivables dans la formalisation. Ainsi que l'a signalé Church [2], la formalisation correspondante trouvée par l'auteur [3] pour le système ayant comme foncteurs primitifs la disjonction conditionnée, *t* et *f* prêtait à certaines objections; celles-ci, pourtant, ne s'appliquent pas à la formalisation qui nous occupe. Nous nous servons de quatre schémas d'axiomes et d'une seule règle primitive de déduction.

1. CNHNPNQNRHRQP.
2. CHPQRNHNPNQNR.
3. HCHRQSHRPSCPQCHRSPHRSQ.
4. HCCNQNPQPCQP.
5. P, HRPQ $\vdash$ Q.

Théorème 1. — *La négation du dual de chaque schéma d'axiomes est dérivable dans la formalisation.*

De 5, 3, 1, 2, 4 on tire successivement

6. P. CPQ $\vdash$ Q.
7. CPQ. CQR $\vdash$ CPR.
8. CHPQRHRQP.
9. P. HQPR $\vdash$ Q.
10. *t*.
11. P $\vdash$ CQP.

De 3, 5, 9, 7, 8, 10, 11, 4, 6 on tire successivement

12. CPQ $\vdash$ CHRSPHRSQ.
13. CPQ $\vdash$ CHRQSHRPS.
14. CPQ $\vdash$ CHPRSHQRS.
15. CP*t*.
16. CPCQP.
17. CPCCNQNPQ.
18. CPCNPQ.
19. CPC*f*Q.

De 12, 13, 14 on tire la règle de la substitutivité de l'équivalence (20). De 18, 19, 6, 11, 10, 17, 20, 1, 2, 8, 7 on a successivement

21. CPNNP.
22. C*f*P.
23. CN*ft*.
24. C*f*N*t*.
25. N*f*.
26. C*t*N*f*.
27. CN*tf*.
28. CCNPN*t*P.
29. CNNPP.
30. CNHPQRHNRNQNP.
31. CHNPNQNRNHPQR.
32. CHNRNQNPNHPQR.

Le théorème s'ensuit aussitôt de 31, 32, 20, 23, 24, 26, 27.

THÉORÈME 2. — *La règle*

33. NP, NHQPR ⊢ NQ

est dérivable dans la formalisation.

De 30, 6, 5 on a

NP, NHQPR ⊢ NP, HNRNPNQ ⊢ NQ.

THÉORÈME 3. — *La formalisation est saturée.*

De 11, 14, 6, 18, 20, 21, 29, 8, 31, 21 on tire successivement

34. P, CQR ⊢ HPQR,
35. P, R ⊢ HPQR,
36. NQ ⊢ CQR,
37. P, NQ ⊢ HPQR.
38. NQ, R ⊢ HPQR,
39. NP, NR ⊢ NHPQR,
40. NP, Q ⊢ NHPQR,
41. Q, NR ⊢ NHPQR.

De 16, 13, 6, 14, 24, 27, 20, 21, 29, 31, 3, 4, 25, 11, 8, 15, 17, 41, 7, 18 on a successivement

42. NCPQ ⊢ NQ,
43. NP, HPQR ⊢ H*f*QR,
44. NP, HPQR ⊢ HN*t*NNQNNR,
45. NP, HPQR ⊢ NCNQNR,
46. NP, HPQR ⊢ R,
47. NCHRQSHRPS ⊢ CHRSPHRSQ,
48. HCCNPN*f*P*f*NP,
49. CNPN*f*,
50. CCPQCNQNP,
51. CCNQNPCPQ,
52. CPCCPQQ,
53. HP*f*NP,
54. NHP*t*NP,
55. P, NQ ⊢ NCPQ,
56. NCHP*f*NPHP*t*NP,
57. CHPNP*t*HPNP*f*,
58. CCNPPH*f*NPP,
59. CNPP ⊢ P,
60. CSP, CSHRPQ ⊢ CSHRSQ,
61. CSP, CSHRPQ ⊢ CSCSQ,
62. CNSCSQ,
63. CPQ, CNPQ ⊢ CNQQ,
64. CPQ, CNPQ ⊢ Q,
65. CSP, CSHRPQ ⊢ CSQ.

De 65, 11, 21, 29 on tire de la manière courante ([4]) le théorème de déduction suivant :

Si $P_1, \ldots, P_n \vdash Q$ *alors* $P_1, \ldots, P_{n-1} \vdash CP_nQ$ $(n = 0, 1, \ldots)$.

Le théorème de saturation s'ensuit maintenant de la manière courante ([5]) au moyen de 10, 25, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 64.

THÉORÈME 4. — *Les schémas d'axiomes sont indépendants.*

Si l'on interprète HPQR, *f* comme CQR, *t* respectivement, tout exemple de 2, 3, 4 et de leurs conséquences est une tautologie, mais certains exemples de 1 ne le sont pas. Donc 1 est indépendant. On démontre, de façon semblable, l'indépendance de 2 en interprétant HPQR comme CQKPR, et celle de 4 en interprétant HPQR, *f* comme EQKPR, *t* respectivement.

Pour démontrer l'indépendance de 3 il nous faut un tableau à trois valeurs. Nous nous servons des valeurs 0, 1/2, 1 dont seule 1 est désignée et nous attribuons à *t*, *f*, HPQR les valeurs 1, 0, max $(0, \min(1, x - y + z))$ respectivement, où x, y, z sont les valeurs de P, Q, R respectivement.

Notons, pour conclure, que si l'on remplace ([6]) 4 par

4*a* HCQPPCCNQNPQ,

les schémas d'axiomes demeurent indépendants. Pour l'établir il suffit de modifier, d'une façon fort simple, les démonstrations données ci-dessus, sauf dans le cas de 1. Pour ce dernier schéma d'axiomes nous interprétons HPQR comme EQR et nous notons que tout exemple de 2, 3, 4 *a* et de leurs conséquences est une formule de valeur constante et que certains exemples de 1 ne le sont pas.

(*) Séance du 8 juin 1960.

(1) *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 4089.

(2) *J. Symbol. Log.*, 19, 1954, p. 295.

(3) *Math. Ann.*, 127, 1954, p. 255.

(4) *Voir*, par exemple, S. C. KLEENE, *Introduction to Meta-Mathematics* (Amsterdam, 1952), p. 90.

(5) *Voir*, par exemple, *J. Symbol. Log.*, 14, 1949, p. 42.

(6) On démontre facilement que la formalisation qui en résulte est saturée.

THÉORIE ANALYTIQUE DES NOMBRES. — *Sommes de Gauss et séries singulières de Hardy pour les cubes.* Note (*) de M. **Pierre Barrucand**, transmise par M. Henri Villat.

Soient p et p' des nombres premiers respectivement $\equiv 1$ et $2 \pmod 3$, $4p = L^2 + 27M^2$, $M > 0$ et $L \equiv 1 \pmod 3$. Notons par $(h/p)_3$ un caractère cubique *modulo* p, dont la valeur sera déterminée par une convention indiquée par Kummer [1]. Nous pouvons alors répartir les nombres h, premiers avec p en trois classes A, B, C selon la valeur de $(h/p)_3$ et

$$S_{h,p} = \sum_{\nu=0}^{p-1} e^{\frac{2\pi i h \nu^3}{p}} = z_a,\ z_b,\ z_c \qquad \text{selon que } h \in A,\ B,\ C.$$

z_a, z_b, z_c sont racines de $z^3 - 3pz - pL$ et

$$\left(\frac{h\in A}{p}\right)_3 = 1, \qquad \left(\frac{h\in B}{p}\right)_3 = \exp\frac{2\pi i}{3}, \qquad \left(\frac{h\in C}{p}\right)_3 = \exp\left(\frac{4\pi i}{3}\right).$$

Posons

$$z_{a,b,c} = |\sqrt{p}|\, e^{i\omega_{a,b,c}} + |\sqrt{p}|\, e^{-i\omega_{a,b,c}} = |\sqrt{p}|\, (\tau_{a,b,c} + \overline{\tau}_{a,b,c}).$$

Kummer a montré que

$$\omega_b = \omega_a + \frac{2\pi}{3}, \qquad \omega_c = \omega_a + \frac{4\pi}{3},$$

donc si $S_{h,p} = |\sqrt{p}|\, (\tau_h + \overline{\tau}_h)$;

$$\tau_h = \tau_a \left(\frac{h}{p}\right)_3 \qquad \text{et} \qquad 3\omega_a = 3\omega_b = \operatorname{arctg}\frac{3\sqrt{3}M}{L}.$$

De la relation [1] $\displaystyle\sum_{h\in A,B,C}^{h<p} e^{2\pi i h/p} = -(1/3) + (1/3)\, z_{a,b,c} = y_{a,b,c}$, nous déduirons

$$\sum_{h\in A,B,C}^{h<p} e^{\frac{2\pi i n h}{p}} = y_{a,b,c} \quad \text{si } n \in A, \qquad \sum_{h\in A,B,C}^{h<p} e^{\frac{2\pi i n h}{p}} = y_{b,c,a} \quad \text{si } n \in B,$$

$$\sum_{h\in A,B,C}^{h<p} e^{\frac{2\pi i n h}{p}} = y_{c,a,b} \quad \text{si } n \in C.$$

Soit $f(x)$ une fonction quelconque et

$$z_a^\nu f(z_a) + z_b^\nu f(z_b) + z_c^\nu f(z_c) = 3F_\nu;$$
$$(z_b - z_c) f(z_a) + (z_c - z_a) f(z_b) + (z_a - z_b) f(z_c) = 3G.$$

Définissons

$$\varepsilon(n, p) = \varepsilon(n) = \text{P. R.}\left(\frac{n}{p}\right)_3,$$

$$\varepsilon'(n, p) = \varepsilon'(n) = 3^{-\frac{1}{2}}\text{P. Im.}\left(\frac{n}{p}\right)_3 = \pm\frac{1}{2} \quad \text{ou} \quad 0.$$

Nous aurons

$$(1)\qquad A=\sum_{h=1}^{p-1} f(S_{h,p})\, e^{-\frac{2\pi i n h}{p}} = -F_0+\varepsilon(n)F_1+\varepsilon'(n)G \qquad \text{si}\quad p\nmid n,$$

$$(2)\qquad A=(p-1)F_0 \qquad \text{si} \qquad p\mid n.$$

Mais (¹) $3M(z_b - z_c) = 4p + Lz_a - 2z_a^2$, donc

$$(3)\qquad 3MG = LF_1 + 4pF_0 - 2F_2.$$

Si $z_a^\nu + z_b^\nu + z_c^\nu = 3\,\varphi_\nu$, on a

$$(4)\qquad B(\nu, p, n)=\sum_{n=1}^{p-1} S_{h,p}^{\nu}\, e^{-\frac{2\pi i n h}{p}} = -\varphi_\nu+\varepsilon(n)\varphi_{\nu+1} + \frac{\varepsilon'(n)}{3M}(4p\varphi_\nu + L\varphi_{\nu+1} - 2\varphi_{\nu+2});\quad p\nmid n,$$

$$(5)\qquad B(\nu, p, n)=(p-1)\varphi_\nu;\quad p\mid n.$$

Considérons maintenant la série singulière de Hardy et Littlewood ([illegible]) :

$$(6)\qquad \mathfrak{S}_\nu(n)=\sum_{q=1}^{\infty}\frac{B(\nu, q, n)}{q^\nu}=\chi(\nu, 3, n)\prod \chi(\nu, p, n)\prod \chi(\nu, p', n)$$

avec

$$(7)\qquad \chi(\nu, q, n)=\sum_{\alpha=0}^{\infty}\frac{B(\nu, q^\alpha, n)}{q^{\nu\alpha}},$$

les sommes $B(\nu, q, n)$ étant calculées sur h premier avec q. Hardy et Littlewood ont fourni (²) des formules permettant le calcul des B et des χ, sauf si $q=p$ ou si $q=3^\alpha$ et dans le premier de ces cas on utilisera nos formules (4) et (5) selon que $p\nmid n$ ou $p\mid n$.

Observons que $B(\nu, p', n)$, $B(\nu, p'^\alpha, n)$ et $B(\nu, p^\alpha, n)$ sont identiquement nuls si $p\nmid n$, $p'\nmid n$ et $\alpha>1$. Nous mettrons la formule (6) sous la forme

$$(8)\qquad \mathfrak{S}_\nu(n)=\chi(\nu, 3, n)\,\lambda(\nu, n, \nu)\,T(\nu, n), \qquad \text{avec}\quad T(\nu, n)=\prod_{p\mid n}\chi(\nu, p, n)\prod_{p'\mid n}\chi(\nu, p', n)$$

et

$$(9)\qquad \lambda(\nu, n, s)=\prod_{p\nmid n}\left[1-\frac{\varphi_\nu}{p^s}+\frac{\varepsilon(n)}{p^s}\varphi_{\nu+1}+\frac{\varepsilon'(n)}{3Mp^s}(4p\varphi_\nu+L\varphi_{\nu+1}-2\varphi_{\nu+2})\right].$$

Si n est un cube les formules se simplifient considérablement.

Le calcul de $T(\nu, n)$ se fera aisément: si : $n=3^c\, p_1^{a_1}\, p_2^{a_2}\, p_3^{a_3}\ldots p_1'^{b_1}\, p_2'^{b_2}\, p_3'^{b_3}\ldots$, on a

$$T(\nu, n)=D(\nu, n)\,D'(\nu, n)$$

et $D(\nu, n)$ est une fonction multiplicative : $D(\nu, n)=D(p_1^{a_1})\,D(p_2^{a_2})\ldots D(p_1'^{b_1})\ldots$ quant à $D'(\nu, n)$ il n'est $\neq 1$ que pour $a_n\equiv 0 \pmod 3$.

Le calcul de $\chi(\nu, 3, n)$ pourra s'effectuer par des règles analogues à (4) et (5) que faute de place nous ne préciserons pas.

On sait que si $\nu \geq 5$ et $(1 + 2 \Sigma x^{n^3})^\nu = \Sigma r(\nu, n) x^n$, on a

$$(10) \qquad r(\nu, n) \sim \frac{\left[2\Gamma\left(\frac{4}{3}\right)\right]^\nu}{\Gamma\left(\frac{\nu}{3}\right)} n^{\frac{\nu}{3}-1} \mathfrak{S}_\nu(n).$$

Nos formules permettent le calcul de $\mathfrak{S}_\nu(n)$ et montrent le rôle des produits infinis $\lambda(\nu, n, s)$, extensions des fonctions $L^{-1}(s, \chi)$ de la théorie de la somme d'un nombre *impair* de carrés. Il est sans doute assez facile de sommer ainsi les séries singulières par les puissances 4 et 6 mais autrement la complexité semble très grande. Enfin on remarquera que la série singulière $\mathfrak{S}_\nu(n)$ conserve les mêmes propriétés si l'on considère ν fractionnaire à dénominateur impair mais la validité de (10) reste à démontrer.

(*) Séance du 8 juin 1960.

(1) E. E. Kummer, *J. Math.* (*Crelle*), 32, 1846, p. 341-359.

(2) G. H. Hardy et J. L. Littlewood, *Math., Z.* 9, 1921, p. 14; *Voir* aussi *Gotting. Nachr.*, 1920, p. 33-54.

THÉORIE DES GRAPHES. — *Généralisations du théorème de Menger.* Note (*) de M. **Gábor Dirac**, transmise par M. Maurice Fréchet.

Les graphes considérés ici peuvent avoir des boucles, des arêtes multiples et peuvent être infinis. Les chaînes considérées sont toujours élémentaires.

Soit G un graphe, et soient $\mathcal{A}$ et $\mathcal{B}$ deux sous-ensembles de sommets disjoints et non vides. Une chaîne C d'extrémités y et y' est appelée une *chaîne entre* $\mathcal{A}$ *et* $\mathcal{B}$ — ou simplement une $(\mathcal{A})$ $(\mathcal{B})$-*chaîne* — si $y \in \mathcal{A}$ et $y' \in \mathcal{B}$ (ou $y \in \mathcal{B}$ et $y' \in \mathcal{A}$), et si $C \cap (\mathcal{A} \cup \mathcal{B}) = \{ y, y' \}$. On dit qu'une configuration J, formée de sommets et d'arêtes de G, *sépare* $\mathcal{A}$ *et* $\mathcal{B}$ *dans* G si G possède une $(\mathcal{A})$ $(\mathcal{B})$-chaîne, si $\mathcal{A} \nsubseteq J$ et $\mathcal{B} \nsubseteq J$, et si G — J ne possède pas une $(\mathcal{A})$ $(\mathcal{B})$-chaîne.

Le théorème bien connu de Menger [1] sera généralisé des deux façons suivantes :

Théorème I. — *Soit k un entier fini, et si* $|\mathcal{A}| = \alpha < k$, *soient* $a_1, \ldots, a_\alpha$ *les sommets de* $\mathcal{A}$ *et* $\mu(a)$ *une fonction sur* $\mathcal{A}$ *à valeurs entières telle que*

$$1 \leq \mu(a_p) \leq k - \alpha + 1 \quad \text{pour} \quad p = 1, \ldots, \alpha,$$
$$\mu(a_1) + \ldots + \mu(a_\alpha) = k.$$

Si $|\mathcal{B}| = \beta < k$, *soient* $b_1, \ldots, b_\beta$ *les sommets de* $\mathcal{B}$ *et* $\nu(b)$ *une fonction sur* $\mathcal{B}$ *à valeurs entières telle que*

$$1 \leq \nu(b_q) \leq k - \beta + 1 \quad \text{pour} \quad q = 1, \ldots, \beta,$$
$$\nu(b_1) + \ldots + \nu(b_\beta) = k.$$

Supposons que $\mathcal{A}$ *et* $\mathcal{B}$ *ne soient pas séparés dans* G *par aucune configuration de sommets de* $G - \mathcal{S}$ $(\mathcal{S} \subseteq \mathcal{A} \cup \mathcal{B})$ *et d'arêtes de* G, *avec moins de k éléments en tout; alors* G *contient k différentes* $(\mathcal{A})$ $(\mathcal{B})$-*chaînes* $C_1, \ldots, C_k$, *telles que*

$$C_i \cap C_j \subseteq \mathcal{A} \cup \mathcal{B} \quad (1 \leq i < j \leq k); \tag{1}$$

en outre, si $\mathcal{S} \subseteq \mathcal{B}$, *telles que*

$$\text{(2)} \quad \begin{cases} \text{si } \alpha \geq k, \ C_i \cap C_j \subseteq \mathcal{B} \quad (1 \leq i < j \leq k), \\ \textit{si } \alpha < k, \ a_p \textit{ est l'extrémité de } \mu(a_p) \textit{ des chaînes } C_1, \ldots, C_k \ (p \leq \alpha); \end{cases}$$

en outre, si $\mathcal{S} = \emptyset$, *telles que*

$$\text{(3)} \quad \begin{cases} \text{si } \beta \geq k, \ C_i \cap C_j \subseteq \mathcal{A} \quad (1 \leq i < j \leq k), \\ \textit{si } \beta < k, \ b_q \textit{ est l'extrémité de } \nu(b_q) \textit{ des chaînes } C_1, \ldots, C_k \ (q \leq \beta). \end{cases}$$

Supposons $\mathcal{S} \subseteq \mathcal{A} \cup \mathcal{B}$; soit G' le graphe déduit de G en plaçant un nouveau sommet sur chaque arête allant de $\mathcal{A}$ à $\mathcal{B}$. Au graphe $G' - (\mathcal{A} \cup \mathcal{B})$ ajoutons deux nouveaux sommets a et b et joignons a (resp. b) aux sommets de $G' - (\mathcal{A} \cup \mathcal{B})$ qui sont adjacents à $\mathcal{A}$ (resp. $\mathcal{B}$) dans G'. D'après

Menger le nouveau graphe contient k différentes (a) (b)-chaînes.... D'où (1).

Supposons $\mathcal{S} \subseteq \mathcal{B}$. Si $\alpha \geq k$, soit G^c le graphe déduit de G par adjonction d'un nouveau sommet c qu'on joint à chaque sommet de $\mathcal{A}$. D'après (1), G^c contient k différentes (a) $(\mathcal{B})$-chaînes.... Si $\alpha < k$, soit G' défini comme précédemment. Pour $p = 1, \ldots, \alpha$ on remplace a_p dans G' par $\mu(a_p)$ nouveaux sommets, qu'on joint aux voisins dans G' de a_p, ainsi qu'à un nouveau sommet d. On obtient (2) en appliquant (1) à ce nouveau graphe.

Suposons $\mathcal{S} = \emptyset$; en usant des méthodes précédentes, on obtient (3).

Théorème II. (En supposant l'axiome du choix.) — *Si a et b ne sont pas séparés dans* G *par aucun ensemble de sommets* $\mathcal{S}$ *de cardinalité* $|\mathcal{S}| < k$, *alors* G *contient une famille* $\mathcal{C}$ *de chaînes telles que* $|\mathcal{C}| \geq k$ *et que deux chaînes quelconques de* $\mathcal{C}$ *ont pour intersection* $\{a, b\}$.

Ceci résulte de :

Théorème III. (En supposant l'axiome du choix.) — *Si* E *est un ensemble non vide, et si* $\mathcal{F} \subseteq \mathcal{P}(E)$ *a les propriétés suivantes :*

$$(1) \qquad \mathcal{B} \subseteq \mathcal{F}, \quad |\mathcal{B}| < k \Rightarrow \left| \bigcup_{B \in \mathcal{B}} B \right| < k,$$

$$(2) \qquad \emptyset \notin \mathcal{F},$$

$$(3) \qquad A \subseteq E, \quad |A| < k \Rightarrow \underset{\mathcal{F}}{\exists} F : \ F \cap A = \emptyset;$$

où k est un cardinal transfini, alors il existe une sous-famille $\mathcal{D}$ *de* $\mathcal{F}$ *telle que* $|\mathcal{D}| \geq k$ *et que les membres de* $\mathcal{D}$ *soient deux à deux disjoints.*

En effet, d'après l'axiome du choix, $\mathcal{F}$ a une sous-famille maximale $\mathcal{D}$ dont les membres sont deux à deux disjoints. Si $|\mathcal{D}| < k$, par (1), (2) et (3), $\mathcal{D}$ n'est pas maximale.

On peut déduire du théorème II un énoncé analogue à celui du théorème I.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) Ce théorème s'énonce avec nos notations : « si a et b sont deux sommets non adjacents d'un graphe G et s'ils ne sont séparés dans G par aucun ensemble de moins de k sommets, alors il existe k différentes (a) (b)-chaînes qui ont deux à deux pour intersection $\{a, b\}$ ». Une légère variante de cet énoncé est parfois appelée « théorème de Whitney » (*cf.* C. Berge, *Théorie des graphes et ses applications*, Paris, 1958, p. 202). Pour les références bibliographiques générales, *cf.* D. König, *Theorie der endlichen und unendlichen graphen*, Leipzig, 1936.

THÉORIE DES GRAPHES. — *Un résultat relatif à la notion de diamètre.* Note (*) de M. **Alain Ghouila-Houri**, transmise par M. Jean Leray.

Nous nous proposons dans cette Note de donner la valeur maximale possible pour le diamètre d'un graphe fortement connexe ayant n sommets et m arcs.

Lemme 1. — *La condition nécessaire et suffisante pour qu'on puisse partager l'ensemble des sommets d'un graphe fortement connexe en* $p+1$ *ensembles non vides* $B_0, B_1, \ldots, B_p$ *de façon que* $x \in B_i$, $y \in B_j$ *et* (x, y) *est un arc impliquent* $j \leq i+1$, *est que le diamètre de ce graphe soit supérieur ou égal à* p.

Démonstration. — La condition est nécessaire. Réciproquement, si le diamètre du graphe est supérieur ou égal à p, considérons deux sommets a et b tels que l'écart de a à b soit supérieur ou égal à p. Les ensembles B_0, $B_1, \ldots, B_p$ des sommets x tels que l'écart de a à x soit respectivement égal à $0, 1, \ldots, p-1$, supérieur ou égal à p, ne sont pas vides. Ils constituent la partition cherchée.

Lemme 2. — *Étant donné les entiers* n *et* p *tels que* $2 \leq p \leq n-1$, *posons*

$$f(n_0, n_1, \ldots, n_p) = \frac{1}{2}\sum_{k=0}^{p} n_k^2 + n_0 n_1 + \ldots + n_{p-1} n_p,$$

où $n_0, n_1, \ldots, n_p$ *sont des entiers supérieurs ou égaux à* 1, *de somme* n *et*

$$\psi(n, p) = \operatorname{Max} f(n_0, n_1, \ldots, n_p);$$

on a

$$\psi(n, p) = \frac{n^2}{2} - n(p - [illegible]) + \frac{p^2}{2} [illegible] \frac{p}{2} \ldots$$

Démonstration :

$$f(n_0, n_1, n_2) = \frac{1}{2}(n_0 + n_1 + n_2)^2 - n_0 n_2 = \frac{n^2}{2} - n_0 n_2, \qquad \text{donc} \quad \psi(n, 2) = \frac{n^2}{2} - 1.$$

Soit maintenant $p > 2$, et soit $(n_0, n_1, \ldots, n_p)$ un $(p+1)$-uple maximisant f. Si l'on avait $n_i > 1$ et $n_j > 1$ avec $j - i > 1$, on pourrait augmenter f, soit en prenant $n'_i = n_i - 1$ et $n'_j = n_j + 1$, soit en prenant $n'_i = n_i + 1$ et $n'_j = n_j - 1$. D'autre part, f peut se mettre sous la forme

$$\frac{1}{2}\sum_{k=0}^{p} n_k^2 + (n_0 n_1 + \ldots + n_{p-1} n_p + n_p n_0) - n_p n_0,$$

ce qui montre que $n_0 = n_p = 1$. Il résulte de tout cela qu'il existe i_0 tel que $1 \leq i_0 \leq p-2$ et tel que

$$\left.\begin{array}{l} i < i_0 \\ i > i_0 + 1 \end{array}\right\} \Rightarrow n_i = 1.$$

On a donc

$$\psi(n, p) = \frac{p-1}{2} + \frac{n_{i_0}^2 + n_{i_0+1}^2}{2} + p - 3 + n_{i_0} + n_{i_0+1} + n_{i_0} n_{i_0+1}$$

$$\psi(n, p) = \frac{p-1}{2} + p - 3 + \frac{1}{2}(n_{i_0} + n_{i_0+1})^2 + (n_{i_0} + n_{i_0+1}),$$

$$\psi(n, p) = \frac{n^2}{2} - n(p-2) + \frac{p^2}{2} - \frac{p}{2} - 2.$$

Lemme 3. — *Il existe un graphe fortement connexe admettant une partition en* $p+1$ *ensembles* $B_0, B_1, \ldots, B_p$ *ayant les propriétés indiquées dans l'énoncé du lemme* 1, *ayant* n *sommets et* m *arcs, si et seulement si*

$$n \leq m \leq \frac{n^2}{2} - n + \psi(n, p).$$

Démonstration. — Soient $n_0, n_1, \ldots, n_p$ les nombres de sommets contenus respectivement dans $B_0, B_1, \ldots, B_p$. On peut placer entre ces sommets n arcs respectant les conditions du lemme 1 de façon que le graphe soit fortement connexe. On peut ensuite ajouter des arcs respectant les conditions jusqu'à un total de

$$\begin{aligned} & n_0(n_0-1) + n_0 n_1 \\ & + n_1 n_0 + n_1(n_1-1) + n_1 n_2 \\ & - \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ & + n_{p-1} n_0 + n_{p-1} n_1 + \ldots + n_{p-1}(n_{p-1}-1) + n_{p-1} n_p \\ & + n_p n_0 + n_p n_1 + \ldots + n_p n_{p-1} + n_p(n_p-1) \\ = & - n + \frac{n^2}{2} + f(n_0, n_1, \ldots, n_p). \end{aligned}$$

C. Q. F. D.

Théorème. — *La valeur maximale possible pour le diamètre d'un graphe fortement connexe ayant* n *sommets et* m *arcs est*

$$\varphi(m, n) = \begin{cases} n-1 \quad \textit{lorsque} \quad n \leq m \leq \dfrac{n(n+1)}{2} - 3, \\ \textit{partie entière de} \quad \left[n + \dfrac{1}{2} - \sqrt{2m - n^2 - n + \dfrac{17}{4}} \right]; \\ \textit{lorsque} \quad \dfrac{n(n+1)}{2} - 3 < m \leq n(n-1). \end{cases}$$

Démonstration. — Étant donné les trois entiers n, m et p, avec $m \geq n$, les lemmes 1 et 3 montrent que si

$$m > \frac{n^2}{2} - n + \psi(n, p)$$

il n'existe pas de graphe fortement connexe de diamètre supérieur ou égal à p ayant n sommets et m arcs, et que si

$$m \leq \frac{n^2}{2} - n + \psi(n, p)$$

un tel graphe existe. La plus grande valeur possible pour le diamètre, n et m étant donnés, est donc la plus grande valeur de p qui soit inférieure ou égale à $n - 1$ et qui vérifie l'inégalité

$$m \leq \frac{n^2}{2} - n + \psi(n, p)$$

c'est-à-dire d'après le lemme 2, l'inégalité

$$m \leq \frac{p^2}{2} - \left(n + \frac{1}{2}\right)p + n^2 + n - 2.$$

C. Q. F. D.

(*) Séance du 20 juin 1960.

THÉORIE DES GROUPES. — *Représentations intégrables du groupe de De Sitter.* Note (*) de M. **Jacques Dixmier**, transmise par M. Gaston Julia.

Soient G un groupe de Lie simple, K un sous-groupe compact maximal de G, supposé de même rang r que G. Si K a un centre de dimension 1, il existe, d'après Harish-Chandra [1], des représentations de carré intégrable de G dépendant de r paramètres entiers. On étudie ici, sans démonstrations, le cas du groupe de De Sitter, pour lequel le centre de K est discret.

On considère la forme quadratique $x_1^2 - x_2^2 - x_3^2 - x_4^2 - x_5^2$. Dans le groupe orthogonal pour cette forme, soit $\mathfrak{G}$ la composante connexe de l'élément neutre. Soit $\mathfrak{G}'$ le groupe de recouvrement universel (à deux feuillets) de $\mathfrak{G}$. Soit $\mathfrak{K}$ le sous-groupe de $\mathfrak{G}$ laissant invariant x_1 (resp. $\mathfrak{K}' \subset \mathfrak{G}'$ le recouvrement universel de $\mathfrak{K}$) : c'est un sous-groupe compact maximal de $\mathfrak{G}$ (resp. $\mathfrak{G}'$). Notons E_{ij} la matrice $(\delta_{i'i}\delta_{j'j})_{1 \leq i' \leq 5, 1 \leq j' \leq 5}$. L'algèbre de Lie $\mathfrak{g}$ de $\mathfrak{G}$ est engendrée par les éléments $A = E_{12} + E_{21}$, $B = E_{13} + E_{31}$, $C = E_{14} + E_{41}$, $D = E_{15} + E_{51}$, $E = E_{23} - E_{32}$, $F = E_{24} - E_{42}$, $G = E_{25} - E_{52}$, $H = E_{34} - E_{43}$, $J = E_{35} - E_{53}$, $K = E_{45} - E_{54}$. L'algèbre de Lie $\mathfrak{k}$ de $\mathfrak{K}$ est engendrée par E, F, G, H, J, K. Soient $L = -E - K$, $M = -F + J$, $N = -G - H$, $L' = -E + K$, $M' = -F - J$, $N' = -G + H$. Alors $\mathfrak{k}$ est produit direct des sous-algèbres $\mathfrak{k}_1$ et $\mathfrak{k}_2$ engendrées respectivement par L, M, N et L′, M′, N′. Soient $\mathfrak{K}_1$ et $\mathfrak{K}_2$ (resp. $\mathfrak{K}'_1$ et $\mathfrak{K}'_2$) les sous-groupes correspondants de $\mathfrak{K}$ (resp. $\mathfrak{K}'$); on a $\mathfrak{K}' = \mathfrak{K}'_1 \times \mathfrak{K}'_2$. Dans l'algèbre enveloppante $\mathfrak{U}$ de $\mathfrak{g}$, on posera

$$\Omega = E^2 + F^2 + G^2 + H^2 + J^2 + K^2 - A^2 - B^2 - C^2 - D^2.$$

Cet élément appartient au centre de $\mathfrak{U}$.

On s'intéresse aux représentations unitaires irréductibles de $\mathfrak{G}'$, autrement dit aux représentations unitaires irréductibles univalentes ou bivalentes de $\mathfrak{G}$. Ces représentations ont déjà été classées [2], [3]. Après quelques rectifications, les résultats peuvent être présentés comme suit. On sait que toute représentation unitaire irréductible σ de $\mathfrak{K}'$ (qui est de dimension finie) est repérée par deux demi-entiers k, k', qui sont tels que

$$\sigma(L^2 + M^2 + N^2) = -4k(k+1), \qquad \sigma(L'^2 + M'^2 + N'^2) = -4k'(k'+1);$$

notons $\sigma_{k,k'}$ cette représentation de $\mathfrak{K}'$. Soit ρ une représentation unitaire irréductible de $\mathfrak{G}'$. Sa restriction $\rho\,|\,\mathfrak{K}'$ à $\mathfrak{K}'$ se décompose en somme hilbertienne de représentations $\sigma_{k,k'}$ deux à deux inéquivalentes; soit Γ l'ensemble des couples (k, k') de demi-entiers ≥ 0 tels que $\sigma_{k,k'}$ intervienne dans la décomposition de $\rho\,|\,\mathfrak{K}'$. Alors ρ est parfaitement définie par l'ensemble Γ et par le scalaire $\rho(\Omega)$; et les possibilités sont les suivantes :

A. *Les représentations* $\pi_{p,q}$.

a. Les représentations $\pi_{p,0}$ ($p = 1, 2, 3, \ldots$); Γ est l'ensemble des

couples

$$\left(\tfrac{1}{2}p, \tfrac{1}{2}p\right), \quad \left(\tfrac{1}{2}p + \tfrac{1}{2}, \tfrac{1}{2}p + \tfrac{1}{2}\right), \quad \left(\tfrac{1}{2}p + 1, \tfrac{1}{2}p + 1\right), \quad \ldots$$

b. Les représentations $\pi_{p,q}$ ($p = 1/2, 1, 3/2, 2, \ldots$; $q = p, p-1, \ldots, 1$ ou $1/2$); Γ est l'ensemble des couples (k, k') de demi-entiers ≥ 0 tels que

$$k' - k = p, \quad p-1, \quad \ldots, \quad q; \qquad k + k' = p, \quad p+1, \quad p+2, \quad \ldots$$

c. Les représentations $\pi_{p,-q}$ ($p = 1/2, 1, 3/2, 2, \ldots$; $q = p, p-1, \ldots, 1$ ou $1/2$); Γ est l'ensemble des couples (k, k') de demi-entiers ≥ 0 tels que

$$k' - k = -p, \quad -p+1, \quad \ldots, \quad -q; \qquad k + k' = p, \quad p+1, \quad p+2, \quad \ldots$$

Dans les trois cas précédents, $\pi_{p,q}(\Omega) = -p^2 - p + 2 - q^2 + q$.

B. *Les représentations* $\nu_{p,\sigma}$ ($p = 0, 1/2, 1, 3/2, \ldots$; $\sigma > -2$ pour $p = 0$; $\sigma > 0$ pour $p = 1, 2, 3, \ldots$; $\sigma > 1/4$ pour $p = 1/2, 3/2, \ldots$); Γ est l'ensemble des couples (k, k') de demi-entiers ≥ 0 tels que

$$k' - k = p, \quad p-1, \quad \ldots, \quad -p; \qquad k + k' = p, \quad p+1, \quad p+2, \quad \ldots$$

et

$$\nu_{p,\sigma}(\Omega) = -p^2 - p + 2 + \sigma.$$

Tout élément de $\mathfrak{G}'$ n'appartenant pas à $\mathfrak{K}'$ se met de manière unique sous la forme $k_1 (\exp tA)\, h_1 h_2$, où k_1, $h_1 \in \mathfrak{K}'_1$, $h_2 \in \mathfrak{K}'_2$, $t > 0$; et la mesure de Haar de $\mathfrak{G}'$ est égale à $\operatorname{sh}^3 t\, dt\, dk_1 dh_1 dh_2$ (dk_1, dh_1, dh_2 désignant les mesures de Haar de $\mathfrak{K}'_1$, $\mathfrak{K}'_1$, $\mathfrak{K}'_2$). Soit ρ une représentation unitaire irréductible de $\mathfrak{G}'$ dans un espace hilbertien $\mathcal{H}$. Si $\rho = \pi_{p,q}$ ($q > 0$) ou $\nu_{p,\sigma}$, la classification ci-dessus montre que, dans la décomposition de $\rho|\mathfrak{K}'$, intervient une représentation $\sigma_{0,p}$. Pour un élément $\zeta \neq 0$ bien choisi du sous-espace correspondant de $\mathcal{H}$, on a

$$(\rho(k_1(\exp tA)\, h_1 h_2)\zeta|\zeta) = (\rho(\exp tA)\zeta|\zeta)(\rho(h_2)\zeta|\zeta).$$

Par ailleurs, un calcul facile prouve, dans $\mathfrak{U}$, la congruence suivante :

$$\Omega \equiv -A^2 + 3(\coth t)A + \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{4}\operatorname{th}^2\frac{t}{2}\right)(L'^2 + M'^2 + N'^2) \quad (t > 0)$$

modulo $\mathfrak{U}.\mathfrak{k}_1 + \mathfrak{k}_1^{\exp tA}.\mathfrak{U}$ ($\mathfrak{K}_1^{\exp tA}$ désigne le transformé de $\mathfrak{k}_1$ par l'opération adjointe de $\exp tA$). Il en résulte que, si f est une fonction indéfiniment différentiable sur $\mathfrak{G}'$ invariante à gauche et à droite par $\mathfrak{K}_1$, on a

$$(\Omega f)(\exp tA) = -\frac{d^2 g}{dt^2}(t) - 3\coth t\,\frac{dg}{dt}(t) + \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{4}\operatorname{th}^2\frac{t}{2}\right)((L'^2 + M'^2 + N'^2)f(\exp tA)),$$

en désignant par g la fonction $t \to f(\exp tA)$. Appliquant ceci à la fonction $s \to (\rho(s)\zeta|\zeta)$ sur $\mathfrak{G}'$, on en déduit que la fonction

$$t \to (\rho(\exp tA)\zeta|\zeta) = g(t)$$

satisfait à

$$(1) \qquad \frac{d^2 g}{dt^2} + 3\coth t\,\frac{dg}{dt} + \left(\omega + 2p^2 + 2p - (p^2 + p)\operatorname{th}^2\frac{t}{2}\right)g = 0$$

en désignant par ω la valeur de $\rho(\Omega)$(4). Posant $g(t) = \gamma(\text{th}^2(t/2))$, puis $\gamma(x) = (1-x)^\theta \eta(x)$, où θ est une racine de $\theta^2 - 3\theta + \omega + p^2 + p = 0$, on ramène (1) à l'équation hypergéométrique

$$x(1-x)\frac{d^2\eta}{dx^2} + 2(1-\theta x)\frac{d\eta}{dx} + (\omega + 2p^2 + 2p - 2\theta)\eta = 0.$$

Ceci permet d'étudier le comportement de $\eta(x)$ quand $x \to 1$, donc le comportement asymptotique sur $\mathfrak{G}'$ de la fonction $s \to (\rho(s)\zeta|\zeta)$. On en déduit le théorème suivant :

Théorème. — *Pour* $|q| \geq (5/2)$, *les représentations* $\pi_{p,q}$ *sont intégrables. Pour* $|q| = 1, 3/2, 2$, *elles sont de carré intégrable mais non intégrables. Les représentations* $\nu_{p,\sigma}$, $\pi_{p,1/2}$ *et* $\pi_{p,-1/2}$, *ne sont pas de carré intégrable.*

Le cas des représentations $\pi_{p,0}$ reste à étudier.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) *Amer. J. Math.*, 78, 1956, p. 564.

(2) L. H. Thomas, *Ann. Math.*, 42, 1941, p. 113.

(3) T. D. Newton, *Ann. Math.*, 51, 1950, p. 730.

(4) Tout ceci imite les méthodes d'Harish-Chandra pour les fonctions sphériques (*Amer. J. Math.*, 80, 1958, p. 241).

ANALYSE MATHÉMATIQUE. — *Aspects linéaires de la théorie du potentiel. Noyaux de composition satisfaisant au principe du balayage sur tout ouvert.* Note (*) de MM. **Gustave Choquet** et **Jacques Deny**, présentée par M. Arnaud Denjoy.

On se propose de déterminer explicitement tous les noyaux de composition satisfaisant au principe du balayage sur tout ouvert. Ceux qui satisfont, en outre, au principe d'unicité des masses sont les noyaux « associés » antérieurement définis; les autres sont pseudo-périodiques et un passage au quotient ramène leur étude à celle des précédents.

Soit G un groupe abélien localement compact, ϖ sa mesure de Haar : un noyau de composition sur G est une mesure $N \geq 0$ sur G; le N-potentiel d'une mesure $\mu \geq 0$ est $N \star \mu$, lorsque cette convolution a un sens.

Définitions. — Rappelons ici le sens précis de certaines notions :

(1) Une mesure $\mu \geq 0$ est *bornée* (resp. tend vers zéro à l'infini) si, quel que soit $\varphi \in \mathcal{C}_k$ [1], $\mu \star \varphi$ est bornée (resp. tend vers zéro à l'infini lorsque G n'est pas compact).

(2) On dit qu'une mesure $\mu \geq 0$ sur G non compact *a de grandes plages* si, $\forall \varepsilon > 0$, $\forall \omega$ ouvert relativement compact, $\forall X$ compact, $\exists a \in G$ tel que

$$(\omega + a) \cap X = \emptyset \qquad \text{et} \qquad \mu(\omega + a) < \varepsilon.$$

Exemple. — Toute mesure qui tend vers zéro à l'infini.

(3) On dit qu'une mesure μ sur G admet pour *pseudo-période* l'élément $a \in G$ si $\mu \star \varepsilon_a$ est proportionnelle à μ.

L'ensemble des pseudo-périodes est évidemment un sous-groupe fermé Γ de G. On peut alors écrire, d'une façon unique, $\mu = f\mu'$, où f est une exponentielle [1] et μ' admet Γ pour groupe des périodes. On dira que $f\mu'$ est la forme canonique de μ; la mesure-quotient μ'/Γ [1] n'a aucune pseudo-période $\neq 0$.

(4) *Principe de positivité des masses pour un noyau* N : Les relations $\mu \in \mathfrak{M}^+$, $\nu \in \mathfrak{M}^+$, $N \star \mu \leq N \star \nu$ entraînent $\mu(G) \leq \nu(G)$.

(5) *Principe du maximum pour* N : ($\mu \in \mathfrak{M}^+_k$ et $N \star \mu \leq \varpi$ sur un ouvert portant μ) $\Rightarrow$ ($N \star \mu \leq \varpi$ partout).

(6) *Principe de l'équilibre pour* N : $\forall \omega$ ouvert borné, $\exists \mu \geq 0$ portée par $\overline{\omega}$, avec $N \star \mu = \varpi$ dans ω, $N \star \mu \leq \varpi$ partout.

(7) *Principe du balayage et principe du balayage sur tout ouvert* [1] : On notera $\mathcal{B}$ (resp. $\mathcal{B}_g$) l'ensemble des noyaux N tels que le N-balayage de toute $\mu \in \mathfrak{M}^+_k$ soit possible sur tout ouvert relativement compact (resp. sur tout ouvert).

Pour toute exponentielle f, $(N \in \mathcal{B})$ [resp. $(N \in \mathcal{B}_g)$] $\Rightarrow$ $(fN \in \mathcal{B})$ [resp. $(fN \in \mathcal{B}_g)$]. Rappelons [1] que pour un noyau $N \in \mathcal{B}$ le principe d'unicité des masses équivaut à la non-existence de pseudo-période $\neq 0$.

(8) *Principe d'abaissement des masses pour un noyau* $N \in \mathcal{B}$: Toute balayée de ε_0 sur tout ouvert borné a une masse totale ≤ 1.

(9) *Noyaux élémentaires :* N est élémentaire [2] s'il est de la forme

$$N = k \sum_{p=0}^{\infty} \sigma^p, \qquad \text{où} \quad \sigma \in \mathfrak{M}^+, \qquad \sigma^0 = \varepsilon_0, \qquad k \text{ réel} > 0.$$

(10) *Noyaux associés :* N est « associé » [2] s'il existe une famille σ_i ($i \in I$) de mesures positives telles que

(a) pour tout $i \in I$, $N \star \sigma_i$ a un sens, $N - N \star \sigma_i \neq 0$ et ≥ 0.

(b) pour tout voisinage v de 0 il existe $i \in I$ tel que $N - N \star \sigma_i$ soit porté par v.

(c) pour tout $i \in I$, $\lim N \star \sigma_i^p = 0$.

On démontre les propositions suivantes :

$$(N \text{ élémentaire}) \iff (N \text{ associé et } N(\{0\}) \neq 0),$$
$$(N \text{ associé}) \quad \Rightarrow \quad ((N + \delta \text{ (élémentaire)}).$$

(11) *Noyau de Hunt :* N est un noyau de Hunt [3] s'il est de la forme

$$N = \int_0^\infty \alpha_t \, dt,$$

où les mesures $\alpha_t \geq 0$ constituent un semi-groupe vaguement continu.

(12) *Noyau de Dirichlet.* N est un noyau de Dirichlet [4] s'il est le transformé de Fourier d'une fonction f localement sommable dont l'inverse $1/f$ est « définie négative » réelle.

Théorème 1. — *Pour qu'un noyau borné soit associé, il faut et il suffit que ce soit un noyau de Hunt; pour qu'un noyau symétrique soit un noyau associé, il faut et il suffit que ce soit un noyau de Dirichlet.*

Lemme 1. — *Étant donnés un noyau* $N \in \mathcal{B}$ *et deux ouverts* X *et* Y *de* G, *on a*

$$N(X)\,N(Y) \leq N(X - X).N(X + Y).$$

Corollaires. — 1° *Si un noyau* N *est dans* $\mathcal{B}$, *son support est un semi-groupe fermé; c'est un groupe si* N *est symétrique.*

2° *Tout noyau symétrique de* $\mathcal{B}$ *est borné.*

Lemme 2. — *Pour tout noyau* N *de* $\mathcal{B}$ *les propriétés suivantes sont équivalentes :* (N *est borné*); (*principe du maximum*); (*principe de l'équilibre*); (*principe de positivité des masses*); (*principe de l'abaissement des masses*).

Lemme 3. — *Tout noyau associé sur un groupe non compact a de grandes plages; s'il est symétrique, il tend vers zéro à l'infini.*

Lemme 4. — *Soit* H *une mesure* ≥ 0 *admettant pour période tout point d'un sous-groupe* Γ *non compact de* G; *soit* K *un noyau porté par* Γ, *dont la restriction à* Γ *a de grandes plages; alors*

$$(K + H \in \mathcal{B}_g) \Rightarrow (K = 0 \quad \text{ou} \quad H = 0).$$

Ainsi $\varepsilon_0 + \varpi$ n'est pas dans $\mathcal{B}_g$ si G n'est pas compact.

THÉORÈME 2. — *Pour qu'un noyau soit dans $\mathcal{B}_g$ et n'ait que la pseudo-période o, il faut et il suffit qu'il soit associé.*

Principe de la démonstration. — Si N est associé, il est dans $\mathcal{B}_g$ et satisfait au principe d'unicité ([2]), donc n'a pas de pseudo-période $\neq 0$ ([4]); si inversement N est dans $\mathcal{B}_g$ et satisfait au principe d'unicité, il est de la forme $N = K + H$, où K est associé et H est K-harmonique ([2]); si $H \neq 0$, il existe une exponentielle K-harmonique ([5]), ce qui permet de se ramener au cas où K est borné; on conclut en utilisant les lemmes précédents et un théorème de représentation des mesures harmoniques ≥ 0 ([3]).

THÉORÈME 3. — *Soit* Γ *le groupe des pseudo-périodes d'un noyau* N *de forme canonique* $f\,N'$.

Si Γ *est compact,* $(N \in \mathcal{B}_g) \Leftrightarrow (N'/\Gamma$ *est associé).*

Si Γ *n'est pas compact,* $(N \in \mathcal{B}_g) \Rightarrow (N'/\Gamma$ *est élémentaire).*

Exemples. — 1° Dans $G = R^3 \times R$, le noyau

$$N = \frac{\varpi}{r} \qquad \text{où} \quad \left(r(x) = (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2)^{\frac{1}{2}}\right)$$

n'est pas dans $\mathcal{B}_g$, bien que N/R le soit.

2° Dans R le noyau $N = \varpi \sum_{n \in Z} \exp(-|x + n|)$ n'est pas dans $\mathcal{B}_g$, bien que N/Z le soit.

3° Dans R^2 le noyau égal à la mesure de Lebesgue de l'un des axes est dans $\mathcal{B}_g$.

4° Dans $R \times T$ le noyau $N = \varpi \exp(-|x_1|)$ $(x_1 \in R)$ est dans $\mathcal{B}_g$, bien que $N(0 \times T) = 0$.

(*) Séance du 20 juin 1960.

([1]) Pour divers résultats et les notations $\mathcal{C}$, $\mathcal{C}_K$, $\mathfrak{M}$, $\mathfrak{M}_K$, etc., *voir* G. CHOQUET et J. DENY, *Comptes rendus*, 243, 1956, p. 764.

([2]) *Voir* J. DENY, *Ann. Inst. Fourier*, 3, 1951, p. 73-101.

([3]) *Voir* G. HUNT, *Illinois J. Math.*, 1, 1957, p. 44-93 et 316-369. En fait, Hunt n'a considéré que des noyaux bornés, mais dans un cadre plus général que la convolution.

([4]) *Voir* A. BEURLING et J. DENY, *Proc. Nat. Acad. Sc.*, 45, 1959, p. 208-215.

([5]) *Voir* G. CHOQUET et J. DENY, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 799.

THÉORIE DES FONCTIONS. — *Les fonctions harmoniques adjointes dans l'axiomatique de M. Brelot.* Note (*) de Mme **Rose-Marie Hervé**, présentée par M. Arnaud Denjoy.

Afin de généraliser la notion d'intégrale de l'équation adjointe d'une équation aux dérivées partielles de type elliptique, on associe, à chaque famille de fonctions harmoniques, une autre famille de fonctions harmoniques, dites adjointes. L'introduction de ces fonctions permet de donner deux critères d'effilement d'un ensemble.

Hypothèses. — 1. Étant donné l'espace Ω, à base dénombrable, sur chaque ouvert de Ω est définie une famille de fonctions harmoniques satisfaisant aux axiomes 1, 2, 3′ (1).

2. Il existe un potentiel >0 dans Ω et, pour tout point $y \in \Omega$, les potentiels de support y sont proportionnels (2).

3. On appelle ouvert complètement déterminant (noté c. d.) tout ouvert $\delta \subset \bar{\delta} \subset \Omega$ tel que, si p est un potentiel dans Ω harmonique dans δ et φ une fonction $\in S^+$ (surharmonique $\geqq 0$ dans Ω), la condition $\varphi \geqq p$ dans $\complement \delta$ entraîne $\varphi \geqq p$ dans Ω (3). On suppose l'existence d'une base des ouverts, soit $\mathcal{D}$, formée de domaines c. d.

Conséquences de l'hypothèse 1. — 1° Étant donné un ensemble $E \subset \Omega$ et une mesure de Radon $\mu > 0$, à support compact, il existe une mesure de Radon $\mu^E \geqq 0$ telle que, pour tout potentiel p fini continu dans Ω,

$$\int \hat{R}_p^E \, d\mu = \int p \, d\mu^E \quad (4).$$

2° Si E est ouvert ou fermé, la formule précédente est valable pour un potentiel p quelconque.

1. Les fonctions harmoniques adjointes.

Lemme 1. — *Étant donné un ouvert c. d.* δ_0 *et* $x_0 \in \delta_0$, *le potentiel* p_y *de support* y *défini par* $\int p_y \, d\rho_{x_0}^{\delta_0} = 1$ *est tel que* $(x, y) \to p_y(x)$ soit *s. c. i., et continue pour* $x \neq y$.

Définition 1. — Étant donné un ouvert $\omega \subset \bar{\omega} \subset \Omega$ et $y \in \omega$, on désigne par σ_y^ω la mesure >0 de Radon, portée par $\partial\omega$, définie par

$$\hat{R}_{p_y}^{\complement\omega}(x) = \int p_z(x) \, d\sigma_y^\omega(z).$$

Définition 2. — Une fonction réelle h^*, définie dans l'ouvert $\omega \subset \Omega$, est dite harmonique adjointe (ou harmonique*) dans ω, si : 1° h^* est finie continue dans ω; 2° quels que soient l'ouvert c. d. $\delta \subset \bar{\delta} \subset \omega$ et $y \in \delta$:

$$h^*(y) = \int h^* \, d\sigma_y^\delta.$$

On affecte d'une étoile (*) toutes les notions relatives aux fonctions harmoniques *. Les résultats suivants montrent que les fonctions harmo-

niques * satisfont aux axiomes 1, 2, 3′, ce qui justifie le qualificatif « harmoniques » :

1° Lemme 2. — *Pour tout compact* $K \subset \Omega$, *les restrictions à* K *des fonctions* $y \to \int p_y(u)\, d\sigma^{\delta}_x(u)$, *où* $\delta \in \mathcal{D}$, $x \in \delta$, *forment un sous-ensemble total de* C (K).

Théorème 1. — *Étant donné un ouvert* $\omega \subset \overline{\omega} \subset \Omega$, $y_0 \in \omega$ *et* $\varepsilon > 0$, *il existe un voisinage* Y *de* y_0, $Y \subset \omega$, *tel que* $y \in Y$ *entraîne*

[illegible]

Remarque. — Dans la définition 2, la condition 1° peut être remplacée par : $h^\star$ est sommable pour toute mesure σ^{δ}_y, δ ouvert c. d., $\delta \subset \overline{\delta} \subset \omega$ et $y \in \delta$.

Corollaire 1. — *Si* y_0 *et* y_1 *sont deux points d'un domaine* $\omega \subset \overline{\omega} \subset \Omega$, *il existe un nombre* $k \geqq 1$ *tel que* $1/k\ \sigma^{\omega}_{y_0} \leqq \sigma^{\omega}_{y_1} \leqq k \sigma^{\omega}_{y_0}$.

2° Lemme 3. — *Si* δ *est un domaine c. d., tout ouvert non vide de* $\partial\delta$ *est de* σ^{δ}_y*-mesure* > 0, *quel que soit* $y \in \delta$.

Théorème 2. — *Soit* $h^\star$ *une fonction harmonique** $\geqq 0$ *dans un domaine* ω : *alors, ou bien* $h^\star > 0$ *dans* ω, *ou bien* $h^\star \equiv 0$ *dans* ω.

Théorème 3. — *Soit* $h^\star$ *une fonction harmonique** *dans un ouvert* $\omega \subset \overline{\omega} \subset \Omega$ *et telle que, pour tout* $y \in \partial\omega$, $\liminf_{x \in \omega} h^\star(x) \geqq 0$: *alors* $h^\star \geqq 0$ *dans* ω.

Remarque. — Les théorèmes 2 et 3 sont encore vrais si l'on suppose seulement $h^\star$ définie dans ω et harmonique* dans un voisinage ouvert de chaque point de ω.

3° Théorème 4. — *Tout ouvert c. d.* δ *est régulier**, *la mesure harmonique* * *de* δ *au point* $y \in \delta$ *étant* σ^{δ}_y. *La base* $\mathcal{D}$ *réalise donc l'axiome* 2 *pour les fonctions harmoniques* *.

2. Quelques propriétés des fonctions $\in S^{\star +}$ (surharmoniques* $\geqq 0$ dans Ω).

1° *Les potentiels** $G^\star_\mu$. — Pour x fixé, $y \to p_y(x)$ est une fonction $\in S^{\star +}$, harmonique* hors du point x; on la note $p^\star_x(y)$. Plus généralement, si μ est une mesure de Radon > 0, la fonction $G^\star_\mu(y) = \int p_y(x)\, d\mu(x)$, si elle n'est pas $\equiv +\infty$, $\in S^{\star +}$, et est harmonique* hors du support fermé de μ.

Théorème 5. — 1° *Toute fonction* $G^\star_\mu \not\equiv +\infty$, *où* μ *est une mesure de Radon* > 0, *est un potentiel** *dans* Ω.

2° *Si* x *est polaire*, $p^\star_x$ *est le seul potentiel** *dans* Ω *de support* x, *à un facteur constant près.*

2° *Balayage** *des potentiels** $G^\star_\mu$.

Théorème 6 : $\hat{R}^{\star E}_{p^\star_x}(y) = \hat{R}^{E}_{p_y}(x)$, *quels que soient* x *et* $y \in \Omega$, *et l'ensemble* $E \subset \Omega$.

Corollaire 2. — 1° *Il y a identité entre les ensembles polaires et les ensembles polaires**.

2° *Pour tout ouvert* $\omega \subset \overline{\omega} \subset \Omega$, *et* $y \in \omega$, σ_y^{ω} *est la mesure harmonique** *de* ω *au point* y.

THÉORÈME 7. — *Soient* E *ouvert ou fermé* $\subset \Omega$, *et* μ *une mesure* > 0 *à support compact : alors* $\hat{R}_{G_\mu^\star}^{\star E} \equiv G_{\mu^E}^\star$.

3° LEMME 4. — *L'enveloppe inférieure d'une famille de fonctions de* S^+ *est égale* $\mathcal{O}$*-p. p. à sa régularisée s. c. i.* ([5]).

Rappelons que l'axiome 4′ ([6]) entraîne le théorème de convergence pour les fonctions de S^+ : L'enveloppe inférieure d'une famille de fonctions de S^+ est égale quasi-partout à sa régularisée s. c. i.

THÉORÈME 8. — *Le théorème de convergence pour les fonctions de* S^+ *est équivalent au théorème de convergence pour les fonctions de* $S^{\star +}$, *moyennant les hypothèses* 1, 2, 3 *ci-dessus.*

3. CRITÈRES D'EFFILEMENT D'UN ENSEMBLE QUELCONQUE.

THÉORÈME 9. — *Pour qu'un ensemble* $E \subset \Omega$ *soit effilé au point* x_0, *il faut et il suffit qu'il existe un voisinage* δ *de* x_0 *tel que* $\hat{R}_{p_{x_0}^\star}^{\star E \cap \delta} \not\equiv p_{x_0}^\star$ *et, si* x_0 *est polaire, il faut et il suffit que* $\hat{R}_{p_{x_0}^\star}^{\star E} \not\equiv p_{x_0}^\star$.

THÉORÈME 10. — 1° *Étant donné* $v \in S^+$, *finie continue au point* x_0, *pour qu'un ensemble* $E \subset \Omega$ *soit effilé au point* x_0, *il faut et il suffit qu'il existe un voisinage* δ *de* x_0 *tel que* $\hat{R}_v^{E \cap \delta}(x_0) < v(x_0)$ ([7]).

2° *Il existe une fonction* $V \in S^+$, *finie continue dans* Ω, *telle que, quels que soient l'ensemble* E *et le point* x_0, *l'effilement de* E *en* x_0 *soit équivalent à* $\hat{R}_V^E(x_0) < V(x_0)$.

On obtient deux critères semblables pour l'effilement* d'un ensemble, et les conséquences suivantes :

1° Étant donné un ouvert $\omega \subset \overline{\omega} \subset \Omega$ et $x_0 \in \partial\omega$, une condition nécessaire et suffisante pour que x_0 soit régulier pour ω ([7]) est que $\complement\omega$ ne soit pas effilé en x_0.

2° Il y a identité entre les ouverts réguliers* et les ouverts c. d.

APPLICATION. — Moyennant certaines conditions sur les coefficients d'une équation aux dérivées partielles de type elliptique définie dans un domaine euclidien Ω relativement compact, on peut montrer que les fonctions harmoniques adjointes sont les solutions de l'équation adjointe.

(*) Séance du 20 juin 1960.

([1]) M. BRELOT, *Séminaire de la théorie du potentiel, Inst. H. Poincaré*, 1957 et 1958.

([2]) R.-M. HERVÉ, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 179.

([3]) Cette définition entraîne que si v_1 et v_2 sont deux fonctions $\in S^+$, harmoniques dans l'ouvert c. d. δ, et égales dans $\complement\delta$, alors $v_1 \equiv v_2$.

([4]) Ce résultat, voisin du théorème 2 de la Note citée en ([2]), ne suppose pas l'axiome 4′.

([5]) Résultat plus précis, grâce à l'existence de la base $\mathcal{O}$, que le théorème 8 de R.-M. HERVÉ, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2834.

([6]) M. BRELOT, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 2709.

([7]) M. BRELOT, *Lectures on potential theory*, Tata Institute, Bombay, 1960.

FONCTIONS SPÉCIALES. — *Sur une relation de récurrence relative aux nombres de Bernoulli d'ordre supérieur.* Note (*) de M. **Dragoslav S. Mitrinović**, transmise par M. Henri Villat.

On déduit la formule de récurrence (5), au moyen de laquelle, grâce aux tableaux (¹), on peut écrire explicitement les 51 premiers nombres de Bernoulli de l'ordre n.

1. Les nombres de Bernoulli $B_k^{(n)}$ de l'ordre n et les nombres de Stirling S_n^r de première espèce sont définis respectivement par les relations suivantes (²) :

$$\prod_{s=1}^{n}(x-s)=\sum_{r=0}^{n}\binom{n}{r}B_{n-r}^{(n+1)}x^r. \tag{1}$$

$$\prod_{s=1}^{n}(x-s)=\sum_{r=0}^{n}S_{n+1}^{r+1}x^r. \tag{2}$$

Il en résulte

$$S_n^{n-k}=\binom{n-1}{k}B_k^{(n)} \qquad (n\geqq k-1) \tag{3}$$

La relation de récurrence (³)

$$(-1)^k S_n^{n-k}=\frac{1}{k}\binom{n}{k+1}\sum_{\nu=0}^{k-1}(-1)^\nu\frac{n-\nu}{\nu+1}\,\frac{\binom{k+1}{\nu}}{\binom{n}{\nu+1}}S_n^{n-\nu} \qquad (k<n), \tag{4}$$

vu la liaison (3), prend la forme suivante :

$$(-1)^k B_k^{(n)}=\frac{1}{k(k+1)}\sum_{\nu=0}^{k-1}(-1)^\nu(n-\nu)\binom{k+1}{\nu}B_\nu^{(n)}. \tag{5}$$

Par suite, si l'on connaît les nombres de Bernoulli,

$$B_0^{(n)},\quad B_1^{(n)},\quad B_2^{(n)},\quad \ldots,\quad B_{k-1}^{(n)},$$

pour n quelconque et k fixe, on peut déterminer le nombre $B_k^{(n)}$.

Nous n'avons pas rencontré en littérature cette élégante formule.

2. Chez Nörlund (⁴) sont indiqués explicitement les nombres

$$B_0^{(n)},\quad B_1^{(n)},\quad B_2^{(n)},\quad \ldots,\quad B_{12}^{(n)}.$$

En partant de (5), ou bien de (3), on admet les formules que voici :

$$\begin{aligned}B_{13}^{(n)} &= \frac{1}{\binom{n-1}{13}}S_n^{n-13}\\ &= -\frac{1}{7\,741\,440}n^2(n-1)(945\,n^{10}-23\,625\,n^9+201\,600\,n^8-609\,210\,n^7\\ &\qquad -113\,715\,n^6+2\,207\,175\,n^5+1\,817\,786\,n^4\\ &\qquad -3\,161\,188\,n^3-6\,544\,568\,n^2-4\,388\,960\,n-1\,061\,376);\end{aligned}$$

$$B_{14}^{(n)} = \frac{1}{\binom{n-1}{14}} S_n^{n-14}$$

$$= \frac{1}{6\,635\,520} n (405\, n^{13} - 12\,285\, n^{12} + 135\,135\, n^{11} - 621\,621\, n^{10} + 765\,765\, n^{9}$$
$$+ 1\,898\,325\, n^{8} - 2\,141\,139\, n^{7} - 6\,565\,559\, n^{6} - 990\,990\, n^{5}$$
$$+ 8\,790\,964\, n^{4} + 8\,132\,904\, n^{3} + 712\,672\, n^{2} - 1\,810\,176\, n - 552\,960);$$

$$B_{15}^{(n)} = \frac{1}{\binom{n-1}{15}} S_n^{n-15}$$

$$= - \frac{1}{884\,736} n^{2} (n-1) (27\, n^{12} - 918\, n^{11} + 11\,367\, n^{10} - 58\,794\, n^{9} + 76\,341\, n^{8}$$
$$+ 267\,246\, n^{7} - 298\,891\, n^{6} - 1\,285\,734\, n^{5} - 506\,956\, n^{4}$$
$$+ 2\,295\,480\, n^{3} + 3\,773\,216\, n^{2} + 2\,363\,126\, n + 552\,960).$$

Grâce à la formule

$$S_n^{n-k} = \sum_{\nu=0}^{k-1} \binom{n}{2k-\nu} C_k^{\nu},$$

où les coefficients

$$C_k^0, \quad C_k^1, \quad C_k^2, \quad \ldots, \quad C_k^{k-1}$$

sont déterminés ([4]) pour $k = 1\ (1)\ 50$, on obtient les 51 premiers nombres de Bernoulli de l'ordre n sous une autre forme, à savoir

$$\binom{n-1}{k} B_k^{(n)} = \sum_{\nu=0}^{k-1} \binom{n}{2k-\nu} C_k^{\nu}.$$

3. Au sujet de la formule (5) nous avons eu un échange de correspondance avec M. L. Carlitz ([5]). Il suggère la voie suivante pour obtenir la formule (5).

A partir de la relation

$$\sum_{k=0}^{\infty} B_k^{(n)} \frac{x^k}{k!} = \left(\frac{x}{e^x - 1} \right)^n$$

qui définit le nombre $B_k^{(n)}$, on trouve après différentiation

$$\sum_k k\, B_k^{(n)} \frac{x^k}{k!} = n \left(\frac{x}{e^x - 1} \right)^n - n \left(\frac{x}{e^x - 1} \right)^n \frac{x\, e^x}{e^x - 1}.$$

Il s'ensuit de là

$$\frac{1 - e^{-x}}{x} \sum_k (n-k)\, B_k^{(n)} \frac{x^k}{k!} = n \sum_k B_k^{(n)} \frac{x^k}{k!}.$$

En égalant les coefficients devant x^k, on obtient précisément la formule (5).

(*) Séance du 20 juin 1960.

([1]) D. S. Mitrinović et R. S. Mitrinović, *Publications de la Faculté d'Électrotechnique*, Belgrade, série : Mathématiques et Physique, n° 34, 1960, p. 1-23; n° 43 (sous presse).

([2]) N. E. Nörlund, *Vorlesungen über Differenzenrechnung*, Berlin, 1924, p. 148.

([3]) D. S. Mitrinović et D. Djoković, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2110.

([4]) *Voir* ([2]), p. 459.

([5]) D'après L. Carlitz la formule (5) est probablement neuve et fort élégante.

(*Département mathématique, Faculté d'Électrotechnique, Université, Belgrade, Yougoslavie.*)

CALCUL DES PROBABILITÉS. — *Propriétés du maximum de vraisemblance pour des processus laplaciens.* Note (*) de M. **Albert Hanen**, présentée par M. Louis de Broglie.

On considère une famille de fonctions aléatoires laplaciennes ne différant que par leurs points moyens. On observe une réalisation de l'une d'elles pendant un intervalle de temps fini. Sous certaines conditions portant sur l'ensemble des points moyens possibles, on montre l'existence et l'unicité de l'estimation la plus vraisemblable du point moyen, et l'on donne quelques propriétés.

On reprend les notations de la Note précédente. [2]

Théorème 3. — *Si* C *est un sous-espace vectoriel* T, *de dimension finie r*, $\subset D_1 \subset D$, *tel que, pour tout* $n > r$, T *et* $P_n(T)$ *ont même dimension, alors :*

1° $P_n(T)$ *est convexe fermé dans* $\mathcal{H}_n$.

2° $t_n^*(x)$, *projection de* $P_n(x)$ *sur* $P_n(T)$, *converge vers* $t^*(x)$, $\in T$, *au sens de la topologie définie par* (4). $t^*(x)$ *vérifie l'équation*

$$\langle\langle t^*(x), z \rangle\rangle = [x, \Gamma^{-1}_z] \qquad \text{pour tout } z \in T.$$

De plus, $P_n^{-1}(t_n^*(x)) \cap C$ *converge vers* $t^*(x)$ *au sens* (4).

On démontre alors le théorème

Théorème 4. — *Si* $C \subset T$, T *vérifiant les conditions du théorème précédent, et si* C *est convexe compact dans* D, *alors :*

1° (*a*) *et* (*b*) *sont vérifiées.*

2° $P_n^{-1}(u_n^*(x)) \to u^*(x)$, *projection sur* C *de* $t^*(x)$, *au sens de la topologie définie par* (4).

Étude de $u^*(x)$. — $u^*(x)$ est la valeur de ρ pour laquelle est minimale,

$$[t^*(x) - \rho.\ \Gamma^{-1}(t^*(x) - \rho)] = [\rho, \Gamma^{-1}\rho] - 2[t^*(x), \Gamma^{-1}\rho].$$

Mais

$$[t^*(x), \Gamma^{-1}\rho] = \langle\langle t^*(x), \rho \rangle\rangle = [x, \Gamma^{-1}\rho].$$

Alors $u^*(x)$ rend minimale l'expression $[\rho, \Gamma^{-1}\rho] - 2[x, \Gamma^{-1}\rho]$.

Dans un travail précédent [3], nous avions vu que, dans les conditions du théorème 4, $V_\rho(t, \omega)$ détermine une mesure μ_ρ sur $\mathcal{H}$, absolument continue par rapport à la mesure μ_0 déterminée sur $\mathcal{H}$ par $U(t, \omega)$,

$$\frac{d\mu_\rho}{d\mu_0}(x) = \exp[\Psi_\rho(x)] \qquad \text{où} \quad \Psi_\rho(x) = [x, \Gamma^{-1}\rho] - \frac{1}{2}[\rho, \Gamma^{-1}\rho].$$

On a immédiatement le

Théorème 5. — $u^*(x)$ *rend maximal* $(d\mu_\rho/d\mu_0)(x)$, *si* x *est la fonction observée.*

Nous appellerons dans la suite $u^*(x)$ l'estimation de ρ par la méthode du maximum de vraisemblance.

Étude du cas [1] où C = T, T vérifiant les conditions du théorème 3. — *Définition.* — Une méthode d'estimation linéaire de ρ est une

application linéaire continue de $\mathcal{H}$ dans T, pour les topologies induites par (3) sur $\mathcal{H}$ et T.

LEMME 1. — *Si* T *a r dimensions, il existe un système* $v_1, \ldots, v_r$ *de vecteurs de* T *tel que :*

$$(1) \qquad \langle\langle v_i, v_j \rangle\rangle = \delta_i^j = 1 \quad \text{si } i = j, \qquad 0 \quad \text{si } i \neq j;$$

$$(2) \qquad [v_i, v_j] = 0 \quad \text{si } i \neq j.$$

LEMME 2. — *Toute méthode d'estimation linéaire se met sous la forme* $x \to \sum_{i=1}^{r} [x, z_i]\, v_i$, *où* z_i *appartient à* $\mathcal{H}$, v_i *le système de vecteurs de* T *du lemme* 1.

Démonstration. — Soit f une méthode d'estimation linéaire de ρ, $x \to \langle\langle f(x), v_i \rangle\rangle$ est une application linéaire continue de $\mathcal{H}$ dans R, il existe donc $z_i \in \mathcal{H}$ telle que, pour tout x,

$$[z_i, x] = \langle\langle f(x), v_i \rangle\rangle$$

alors

$$f = \sum_{i=1}^{r} \langle\langle f(x)\, v_i \rangle\rangle\, v_i = \sum_{i=1}^{r} [z_i, x]\, v_i.$$

C. Q. F. D.

THÉORÈME 6. — *La méthode d'estimation linéaire du maximum de vraisemblance vérifie les propriétés suivantes :*

$$(\alpha) \qquad E_\rho \quad t^*(x) \quad = \rho(t) \quad \text{p. s.};$$

$$(\beta) \qquad E_\rho \| t^*(x) - \rho \|^2 \leq E_\rho \| \rho^{**}(x) - \rho \|^2$$

où E_ρ *désigne l'espérance mathématique quand* x *est une réalisation de* V, ρ^{**} *est une méthode d'estimation linéaire de* ρ, *soumise seulement à la condition* (α), $\| x \| = [x, x]$.

Démonstration. — α. On a

$$t^*(x) = \sum_{i=1}^{r} [x, \Gamma^{-1} v_i]\, v_i.$$

Si x est une réalisation de V_ρ,

$$t^*(x) = \sum_{i=1}^{r} [U(t, \omega), \Gamma^{-1} v_i] v_i + \sum_{i=1}^{r} [\rho, \Gamma^{-1} v_i]\, v_i ; \quad \sum_{i=1}^{r} [\rho, \Gamma^{-1} v_i]\, v_i = \rho,$$

alors

$$E_\rho t^*(x) = \rho.$$

β. Soit $z_i \in \mathcal{H}$. Posons $z_i = \Gamma^{-1} v_i + u_i$;

$$E_\rho \| t^*(x) - \rho \|^2 = E \left\| \sum_{i=1}^{r} [U(t, \omega), \Gamma^{-1} v_i]\, v_i \right\|^2 = \sum_{i=1} E[U(t, \omega), \Gamma^{-1} v_i]^2 \| v_i \|^2$$

$$= \sum_{i=1}^{r} [v_i] \Gamma^{-1} v_i] \| v_i \|^2 = \sum_{i=1}^{r} \| v_i \|^2.$$

γ. ρ^{**} vérifie $(\alpha) \rightleftharpoons \rho^{**}(x) = \sum_{i=1}^{i=r} [x, z_i]\, v_i \Rightarrow \rho = \sum_{i=1}^{i=r} [\rho, z_i]\, v_i$ pour tout ρ appartenant à T, $\rightleftharpoons v_j = \sum_{i=1}^{r} [v_j, z_i]\, v_i$ pour tout $j \rightleftharpoons [v_j, z_i] = \delta_i^j$,

$$E_\rho \| \rho^{**}(x) - \rho \|^2 = E \left\| \sum_{i=1}^{r} [U(t, \omega), z_i]\, v_i \right\|^2 = \sum_{i=1}^{i=r} E[U(t, \omega), z_i]^2 \|v_i\|^2$$
$$= \sum_{i=1}^{i=r} [z_i, \Gamma z_i] \|v_i\|^2$$

en vertu du lemme 1.

Mais si l'on pose $z_i = \Gamma^{-1} v_i + u_i$, $\Gamma z_i = \Gamma u_i + v_i$. $[u_i, v_j] = 0$, en vertu de ce que nous venons de trouver, pour tous i, j,

$$\begin{aligned}[z_i, \Gamma z_i] &= [v_i, \Gamma^{-1} v_i] + [u_i, \Gamma u_i] + [u_i, v_i] + [\Gamma u_i, \Gamma^{-1} v_i] \\ &= [v_i, \Gamma^{-1} v_i] + [u_i, \Gamma u_i] + 2[u_i, v_i] \\ &= [v_i, \Gamma^{-1} v_i] + [u_i, \Gamma u_i] \geqq [v_i, \Gamma^{-1} v_i].\end{aligned}$$

donc

$$E_\rho \| \rho^{**}(x) - \rho \|^2 \geqq \sum_{i=1}^{i=r} [v_i, \Gamma^{-1} v_i] \|v_i\|^2,$$

mais

$$t^*(x) = \sum_{i=1}^{r} [x, \Gamma^{-1} v_i]\, v_i \Rightarrow E_\rho \| t^*(x) - \rho \|^2 = \sum_{i=1}^{i=r} [v_i, \Gamma^{-1} v_i] \|v_i\|^2.$$

D'où finalement

$$E_\rho \| \rho^{**}(x) - \rho \|^2 \geqq E_\rho \| t^*(x) - \rho \|^2.$$

On montre aisément le

Théorème 7. — *La méthode du maximum de vraisemblance fournit un résumé exhaustif pour la discrimination entre les mesures* μ_ρ.

(*) Séance du 8 juin 1960.

(1) Mann. H. B. *Sankhya* Vol. 13. Partie IV Juin 1954.

(2) A. Hanen, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 4100.

(3) A. Hanen, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3950.

MÉCANIQUE. — *Résolution exacte de l'équation des plaques circulaires à épaisseur linéairement variable.* Note (*) de MM. **Roger Delchambre**, **Paul Janssens** et Mlle **Monique Vanbeckbergen**, présentée par M. Franz Van den Dungen.

1. On considère une plaque circulaire, à symétrie de révolution et à épaisseur linéairement variable.

La pente du feuillet moyen $\varphi(r)$ satisfait l'équation

$$\text{(1)} \qquad D\frac{d}{dr}\left\{\frac{d\varphi}{dr}+\frac{\varphi}{r}\right\}+\frac{d}{dr}\left\{\frac{d\varphi}{dr}+\gamma\frac{\varphi}{r}\right\}=-Q(r).$$

où γ, module de Poisson; $D = Eh^3/[12(1-\gamma^2)] = \beta h^3$; $h(r)$, épaisseur de la plaque à la distance r; $Q(r)$, effort tranchant par unité de longueur $= (1/2\pi r)\int_0^r 2\pi r\,p(r)\,dr$ et $p(r)$, charge à distance r.

$h_0(1+\lambda)$ $\qquad$ $h_0(1-\lambda)$

Fig. 1.

Dans le cas d'une plaque chargée uniformément ($Q = pr/2$) et encastrée sur le bord $\varphi(r = a) = 0$, Favre [1] a donné une solution approchée du problème. Il a choisi comme loi d'épaisseur (*fig.* 1)

$$\text{(2)} \qquad h(r) = h_0\left\{1+\lambda\left(2\frac{r}{a}-1\right)\right\}$$

et obtenu une valeur de φ en développant les coefficients de l'équation (1) et les solutions en série jusqu'au terme en λ^4. Il a ensuite calculé, à cette approximation, les moments radiaux et tangentiels, ainsi que l'équation du feuillet moyen déformé

$$\text{(3)} \qquad \zeta_0 = -\int \varphi(r)\,dr.$$

2. Nous avons obtenu une solution exacte dans l'équation (1) ainsi que des expressions des moments et de ξ_0.

Adoptons comme loi de variation d'épaisseur

$$\text{(4)} \qquad h = \hbar_0 + \alpha r \qquad \text{et posons} \quad \xi = \frac{r}{a}.$$

On retrouve la relation de Favre (2) si

$$\frac{\alpha a}{\hbar_0} = \sigma = \frac{2\lambda}{1-\lambda}, \qquad \hbar_0 = h_0(1-\lambda).$$

En adoptant ensuite la variable $z = 1 + (2\alpha r/h_0) = 1 + 2\sigma\xi$ et la fonction $\Phi = 2(1 + z)\varphi(z)$, l'équation (1) se ramène à

$$\Phi'' + \frac{2z}{z^2-1}\Phi' + \left\{\frac{-4}{(z^2-1)^2} + \frac{3(\gamma-1)}{z^2-1}\right\}\Phi = \frac{-4Q}{\beta\alpha^2 h_0(1+z)^2} \tag{5}$$

dont le premier membre est précisément l'équation des fonctions de Legendre P_ν^2 et Q_ν^2 où ν dépend uniquement du coefficient de Poisson γ

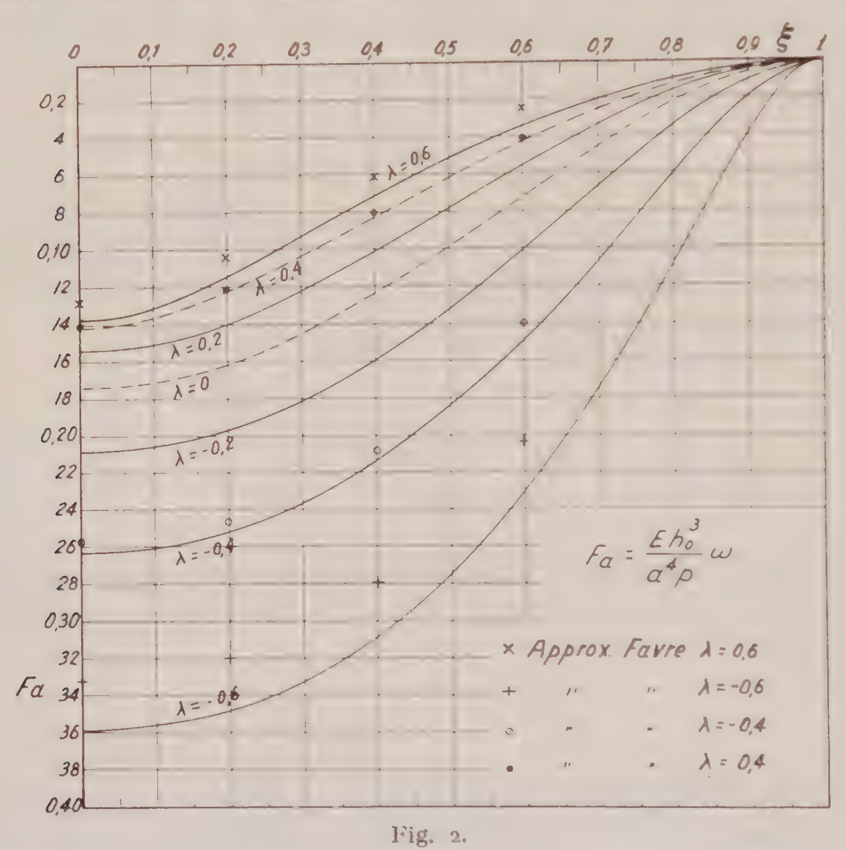


Fig. 2.

par la relation

$$\nu(\nu + 1) = 3(1 - \gamma). \tag{6}$$

Dans plusieurs cas de charge $p(r)$ l'équation peut être complètement intégrée par variation des constantes. Pour une charge uniformément répartie et $\varphi(0) = 0$ on obtient

$$\varphi(z) = \frac{\Lambda}{z+1}\left\{K P_\nu^2(z) + 3(1-\gamma)\left(\frac{z-1}{z+1}\right)\left(z + \frac{1+\gamma}{1-\gamma}\right)\right\}, \tag{7}$$

avec $\Lambda^{-1} = (3/p)\beta\alpha^3(1-\gamma)(1-3\gamma)$. K est une constante d'intégration dépendant des conditions aux limites sur le bord.

Il est ensuite aisé de déduire les autres expressions des moments, des tensions et de la forme du feuillet moyen pour lesquelles on obtient ainsi une expression exacte quel que soit λ.

3. *Cas particulier.* — Le cas de la plaque parallèle ($\lambda = 0$) est dégénéré, mais on peut retrouver aisément la solution exacte, ainsi que dans le cas $\lambda = 1$.

Un autre cas remarquable est celui où $\gamma = 1/3$ ($\approx$ laiton). Dans ce cas $\nu = 1$ et la solution donnée dégénère ($P_1^2 \equiv 0$). On trouve dans ce cas l'expression simple (plaque chargée uniformément)

$$\varphi(u) = \frac{Q}{36}\left\{ K \frac{u(3+2u)}{(1+u)^2} + \frac{16u^2+3u-6}{(1+u)^2} - \frac{6(1-2u)}{u}\log(1+u)\right\}.$$

$u = (z - 1/2) = \sigma\xi$; Q, constante connue; K, constante d'intégration. Cette expression n'exige plus la tabulation de la transcendante P_ν^2.

4. *Application.* — Nous avons cherché l'équation du feuillet moyen déformé (3) à l'aide de la solution (7). On obtient ainsi, en adoptant la même fonction que celle représentée par Favre [([1]), *fig.* 4, p. 325]

$$\frac{E h_0^3}{p a^4}\zeta_0 = \frac{1}{16}\left(\frac{1-\lambda}{\lambda^4}\right)\left(\frac{1+\gamma}{1-3\gamma}\right)(K I_1 + I_2), \tag{8}$$

avec

$$I_1 = \frac{1}{1+z}\{(\nu+1)P_{\nu+1}(z) - [(\nu+2)z+1]P_\nu(z)\} + 1,$$

$$I_2 = 3(1-\gamma)(z-1) + 6(2\gamma-1)\log\left(\frac{z+1}{2}\right) - 6\gamma\left(\frac{z-1}{z+1}\right).$$

K, constante d'intégration qui vaut, pour la plaque encastrée en ses bords

$$K = -\frac{6\sigma}{\sigma+1}\,\frac{(1-\gamma)\sigma+1}{P_\nu^2(1+2\sigma)}.$$

Nous avons représenté la fonction (8) pour $\gamma = 0{,}25$ et diverses valeurs du paramètre λ (*fig.* 2) et l'avons comparé à l'approximation obtenue par Favre.

Les écarts atteignent 10 % pour $\lambda = \pm 0{,}6$.

La tabulation des fonctions de Legendre a été effectuée par MM. Merlin et Deschepper (Soc. Belge Machines Bull.) sur la machine γET.

(*) Séance du 8 juin 1960.

([1]) H. FAVRE, *Z. A. M. P.*, 1, 1950, p. 317.

HYDRODYNAMIQUE. — *Sur une onde moléculaire sphérique stationnaire.* Note (*) de M. **Raymond F. Simonis**, présentée par M. Gustave Ribaud.

On montre que les molécules superficielles d'une veine en régime d'écoulement uniforme, percutant un plan d'eau, sont transférées à la surface des bulles d'air. au cours de la genèse hydrodynamique de ces bulles. Le mouvement orbiculaire de transfert est une onde sphérique stationnaire. Les calculs font exclusivement appel aux équations classiques de cinématique. Les résultats obtenus coïncident totalement avec ceux obtenus antérieurement et utilisant la théorie moléculaire de la tension superficielle, exposée par Laplace dans son traité de Mécanique céleste.

On a vu que la percussion du plan d'eau d'un bassin par une veine d'eau de rayon j en régime d'écoulement uniforme à la vitesse géométrique $U = U_1$ dépouille la veine de sa couche capillaire en déprimant la surface du bassin suivant une zone sphérique de rayon R_1. La couche capillaire de la veine recouvre alors la surface déprimée avec la vitesse aréolaire constante de la veine $q_s = 2\pi j U_1$. L'aire spatiale balayée par les molécules superficielles est donc proportionnelle au temps.

L'accroissement d'aire $d\sigma$ de la surface déprimée Σ quand l'angle polaire θ d'une molécule varie de $d\theta$ s'écrit

$$d\sigma = -2\pi R_1^2 \sin\theta\, d\theta = -2\pi R_1\, dz \qquad (dz < 0 \text{ si } d\theta > 0).$$

d'où

$$\Sigma = 2\pi R_1 \int_{z_0}^{z_1} dz = 2\pi R_1 (z_1 - z_0),$$

avec $z_0 = R_1 \cos\theta_0$, cote du plan de percussion; $z_1 = R_1 \cos\theta_1$, cote de la surface plane du bassin; θ_0 et θ_1, les angles polaires correspondants.

La vitesse aérolaire des molécules de la surface déprimée du bassin est

$$q_s = \frac{d\sigma}{dt} = -2\pi R_1 \frac{dz}{dt}$$

ou, en désignant par $v_z = V_1$, la composante axiale de la vitesse de ces molécules

$$-2\pi R_1 V_1 = 2\pi j U_1$$

qui donne

$$V_1 = -\frac{j}{R_1} U_1 = U_1 \sin\theta_0.$$

En prenant l'instant t_0 de la percussion comme origine des temps $t_0 = 0$, on a

$$V_1\, dt = -dz.$$

Si t_1 est l'instant de passage des molécules à la surface du bassin et en posant $\Gamma_1 = t_1$ ou, par intégration $V_1 T_1 = z_1 - z_0$ ou, H_1 désignant la profondeur positive de la percussion $H_1 = z_0 - z_1$, on a

$$V_1 T_1 = -H_1 = -R_1 (\cos\theta_0 - \cos\theta_1).$$

Si $\zeta_1 = - H_1$, ζ_1 étant la hauteur du plan d'eau au-dessus du plan de percussion, on a $V_1 T_1 = \zeta_1$. Cette équation est celle de la propagation d'une onde sphérique stationnaire dirigée vers le haut, dont la longueur est $L_1 = 2\zeta_1$ et l'amplitude aréolaire Σ_1. Pour une autre vitesse uniforme de veine $U = U_2$ on aurait un rayon de zone R_2, une vitesse axiale V_2 et une durée T_2 pour $H = H_2$ et $\zeta = \zeta_2$.

L'équation différentielle générale du mouvement moléculaire est

$$jU + R^2 \sin\theta \frac{d\theta}{dt} = 0, \qquad \text{c'est-à-dire} \quad dt = -\frac{R^2}{jU}\sin\theta\, d\theta,$$

dont l'intégrale indéfinie est $t = - R_2/jU\,(\cos\theta - \cos\theta_0)$ et qui, intégrée entre θ_0 et θ_1, donne l'intégrale générale

$$T = \frac{R^2}{jU}(\cos\theta_1 - \cos\theta_0) = \frac{R}{jU}\zeta.$$

T est la durée d'une période du mouvement orbiculaire des molécules superficielles ou

$$T = \frac{\Sigma}{2\pi jU} = \frac{2\pi R\zeta}{2\pi jU} = \frac{R\zeta}{jU} = \frac{\zeta}{\frac{j}{R}U} = \frac{\zeta}{V}$$

soit, en posant $\nu = 1/T$ la fréquence du mouvement aréolaire périodique $\nu = V/\zeta$ qui est une fréquence aréolaire et linéaire.

L'aire instantanée σ de la zone sphérique variable d'angle polaire θ en régime uniforme U de la veine passe par un maximum $\sigma = \Sigma$ pour $\theta = \theta_1$; soit $\Sigma = 2\pi R\zeta$.

L'aire de la surface déprimée Σ augmentant avec le paramètre U (en régime uniforme) passe par un maximum lorsque l'aire de la zone sphérique Σ de rayon R est égale à l'aire de l'hémisphère de rayon R, c'est-à-dire quand $R = \zeta$. Cette valeur maximale $\Sigma = \Sigma_M$ a lieu pour une vitesse d'écoulement $U = U_j$. Le rayon R passe alors par la valeur $R_m = \zeta_M$ pour un angle polaire $\theta_1 = \theta_M$ et l'on a

$$\Sigma_M = 2\pi R_m^2 \qquad \text{et} \qquad R_m = R_m(\cos\theta_M - \cos\theta_0).$$

Soit

$$\varepsilon = R_m - R_m\cos\theta_0 = R_m(1 - \cos\theta_0)$$

la hauteur de la calotte sphérique comprise dans la veine. On a alors

$$z_1 = -\varepsilon \qquad \text{et} \qquad z_0 = R_m\cos\theta_0.$$

D'où $z_1 - z_0 = -(\varepsilon + R_m\cos\theta_0) = - R_m$ qui entraîne $-\pi/2 = \theta_0 - \theta_M$, c'est-à-dire $\theta_1 = \theta_M = \theta_0 + \pi/2$.

L'aire de la surface déprimée Z (U) étant maximale avec $U = U_j$, on en déduit que $d(\Sigma(U_j)) = 0$ et l'on a

$$\Sigma(U_j) = \Sigma_M = 2\pi R_m\zeta_M = 2\pi R_m^2$$

et $U_j = R_j^2/j$ qui est la vitesse géométrique critique de la veine de rayon j. Si $C(U)$ représente la capacité du segment sphérique limité par les plans $z = z_1$, $z = z_0$, alésé par la veine, l'aire latérale $Z(U)$ passant par un maximum, il en est ainsi de $C(U)$. Et l'on a $dC(U) = 0$, $d\Sigma = 0$, c'est-à-dire que

$$d\Sigma(U_j) = 0, \qquad dC(U_j) = 0 \qquad \text{et} \qquad C(U_j) = C_M = \text{Cte}.$$

D'autre part, si $d\Sigma(U) = 0$ pour $U = U_j$, on a également $d(R^2(U)) = 0$ pour $U = U_j$, c'est-à-dire pour $R = R_m$, $\zeta = \zeta_M = R_m$ et R_m est le rayon de l'hémisphère dont l'aire $2\pi R_m^2 = 2\pi j U$ qui est celle d'une sphère de rayon fixe λ telle que $2\pi R_m^2 = 4\pi\lambda^2$ ou $2\lambda^2 = R_m^2$ et $\lambda = R_m/\sqrt{2} = R_m\sqrt{2}/2$. Mais $\zeta = R_m$ représente la demi-longueur $L_M/2$ de l'onde sphérique telle que $L_M/2 = \zeta_M = R_m$ dont l'aire est Σ_M. On a donc $L_M = 2\zeta_M = 2R_m$, c'est-à-dire $R_m = \lambda\sqrt{2}$ et $L_M = 2\sqrt{2}\lambda$.

Pour une vitesse géométrique $U \geqq 2U_j$ l'aire balayée par les molécules est au moins celle d'un trajet axial d'une longueur d'onde L_M, soit :

1° La zone sphérique *ouverte* de rayon $R_m = \zeta_M = L_M/2$, d'aire Σ_M et de capacité C_M limitée par le plan du bassin;

2° La zone sphérique inférieure *fermée* co-axiale à la première, formée sitôt la percussion, sous l'angle polaire θ'_0 de rayon r, de hauteur $L_M/2 = R_m$ d'aire Σ_M de capacité C_M. Ces grandeurs sont liées par les relations $\sin\theta'_0 = j/r$, $T'_m = T_m$, $\zeta_M = r^2\cos\theta'_0$ conduisant à $r^2 = (\lambda^2/2) + j^2$. Cette zone contient le cylindre d'eau $\pi j^2 \zeta_M$ qui, éjecté par son énergie cinétique sitôt la fermeture, alors que $d\Sigma = 0$ et $dC = 0$ entraîne une sphère de rayon b tel que $b^2 = \lambda/2$ qui est le rayon d'une bulle libre au moment de sa genèse, soit

$$b = \frac{\lambda\sqrt{2}}{2} = \frac{R_m}{2} = \frac{L_M}{4}.$$

On tire enfin l'équation générale du mouvement moléculaire

$$t = k\,T_M = \frac{k\lambda^2}{jU}.$$

k étant un nombre quelconque.

Cette théorie moléculaire exclusivement cinématique de la genèse hydrodynamique de bulles d'air dans l'eau, sans frottement des fluides, au cours d'un mouvement ondulatoire stationnaire, confirme en la précisant la théorie faisant appel aux équations de Laplace et qui a fait l'objet de Notes antérieures.

(*) Séance du 20 juin 1960.

HYDRAULIQUE. — *Cheminées d'équilibre : étude des oscillations libres.* Note (*) de M. **Lefteri Sideriadès**, présentée par M. Louis de Broglie.

1. Au cours de la dernière réunion de l'American Society of Mechanical Engineers à New-Jersey (décembre 1959), le Docteur C. Jaeger [1] a mis l'accent sur la nécessité de définir un « facteur de stabilité » lié à toute section adoptée pour une chambre d'équilibre. Car, depuis l'étude de base de Thoma [2], un grand nombre d'études théoriques et de vérifications expérimentales — tant au laboratoire qu'au chantier — ont été réalisées qui montrent pertinemment que suivant les cas on peut s'écarter franchement de la section de Thoma (exemple de Jouques) ou au contraire être forcé de s'y maintenir (exemple de Cordeac). Le problème est loin d'être simple et il apparaît que les définitions des pertes de charge et les lois régissant les asservissements adoptés jouent un rôle primordial. Nous avons retenu comme particulièrement suggestive, au cours de la discussion qui a suivi la Communication de MM. Chevalier et Hug [3], la nécessité, suivant l'avis de M. Ailleret, d'étudier une centrale « juste à la limite de l'instabilité » par une sorte de méthode des perturbations.

Mais, puisqu'il est unanimement admis que les fonctionnements observés pour les divers types existants sont « fortement teintés » de marche à vannage bloqué, il nous semble intéressant d'épuiser d'abord aussi complètement que possible, le problème d'une cheminée fonctionnant en écoulement libre, indépendamment de tout asservissement. L'étude des oscillations d'un tel système, intuitivement stable, doit fournir une indication précieuse sur le degré d'autostabilité de la cheminée et, par voie de conséquence, permettre de prévoir une loi de vannage de manière à *maintenir* cette stabilité avec des sections bien inférieures aux sections usuellement admises.

Le problème général que nous proposons est à trois dimensions. Nous en avons fait une étude complète dans l'espace (W, Q, Z) que nous publierons prochainement. Nous présentons ici une « projection » sur le plan W, Z, moyennant l'approximation

$$Q = KH_n^{\frac{1}{2}} \qquad (H_n, \text{ hauteur nette}).$$

Cette loi, qui n'est en fait qu'une intégration approchée de la troisième équation différentielle du problème général, fournit néanmoins des résultats intéressants quant à la nature des oscillations.

2. Les équations sont les suivantes :

$$(1)\qquad \left\{\begin{aligned} & fW = FV + Q, \\ & \frac{L}{g}\frac{dW}{dt} + Z + PW^2 = 0, \\ & Q = K H_n^{\frac{1}{2}}. \end{aligned}\right.$$

L'étude hydraulique de la conduite forcée montre que cette dernière équation peut s'expliciter ainsi :

$$(2)\qquad \begin{cases} Q = \mu(H+Z)^{\frac{1}{2}}, \\ \frac{1}{\mu^2} = \lambda + \frac{1-a^2}{2g a^2 \varphi^2}; \end{cases}$$

φ, section de la conduite;
$S = a\varphi$, section vannée;
λ, perte de charge dans la conduite.

3. Topologiquement, le système non linéaire des équations différentielles présente un seul point singulier pour $W > 0$. Il n'y a pas de courbe frontière. Donc absence de non-linéarité forte qui permet de linéariser le système au point singulier dont les coordonnées sont :

$$W_0 = (\gamma H)^{\frac{1}{2}}, \qquad Z_0 = -\gamma PH, \qquad \gamma = \frac{\mu^2}{f^2 + \mu^2 P}.$$

Les relations obtenues sont exactes pour de faibles amplitudes, et réalisent une très bonne approximation pour les grandes amplitudes (nombreuses vérifications graphiques).

4. L'oscillateur équivalent satisfait à l'équation différentielle

$$\ddot{z} + 2\beta\dot{z} + \omega_0^2 z = 0, \qquad z = Z - Z_0;$$

$$(3)\qquad \begin{cases} 2\beta = \frac{2g}{L}(PH)^{\frac{1}{2}}\sin\alpha\left(1 + \frac{F_C}{2F\cos^2\alpha}\right), \qquad F_C = \frac{Lf}{2g\,PH}, \qquad \gamma P = \sin^2\alpha; \\ \omega_0^2 = \frac{gf}{LF}\frac{1}{\cos^2\alpha}. \end{cases}$$

D'où l'on peut déduire la pseudo-période des oscillations amorties $\omega^2 = \omega_0^2 - \beta^2$, ainsi que le décrément $d = 2\beta/\omega$. Il est intéressant de noter les résultats dans le cas d'une section de Thoma. On trouve

$$(4)\qquad \begin{cases} \omega^2 = \frac{g^2 PH}{L^2}A^2, \qquad A^2 = \frac{4(1+\cos^4\alpha)\cos^2\alpha - \sin^2\alpha}{4\cos^4\alpha}, \\ d = \frac{2B}{A}, \qquad B = \frac{(1+2\cos^2\alpha)\sin\alpha}{2\cos^2\alpha}. \end{cases}$$

Si l'on choisit $d = (3/\sqrt{2})\alpha$, cette loi linéaire est vérifiée à moins de 6 % pour $\alpha < 30°$.

5. L'étude de l'amortissement, dans le cas général, montre qu'il existe une zone (ensemble de valeurs de F) pour laquelle le système stable donne lieu à des oscillations. En dehors de cette zone, on constate un régime apériodique. Intuitivement, on peut imaginer qu'un tel régime apériodique existe pour F très faible (cas d'un tube de Pitot) et pour F très grand (cas d'un réservoir). Les valeurs critiques F_i sont définies par

$$(5)\qquad F_{1,2} = \frac{F_C}{2}\left(\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha(1\pm\cos\alpha)}\right)^2.$$

Elles sont inverses dans une inversion de pôle O et de puissance

$$F_C^{+2} = \left(\frac{F_C}{2\cos^2\alpha}\right)^2.$$

6. La nouvelle section F_C^+ ainsi définie peut être supérieure ou inférieure à la section de Thoma suivant la valeur relative de $f^2/\mu^2 P$ par rapport à l'unité. Elle caractérise l'amortissement minimal qu'on puisse obtenir, et le décrément vaut alors

$$d = 2\,\mathrm{tg}\,\alpha. \qquad (6)$$

7. On notera également que, dans le cas de faibles pertes de charge (α faible), les résultats précédents se simplifient :

$$\left\{\begin{array}{l} \omega^2 = \dfrac{gf}{LF}(1-\alpha^2), \\ d = 2\alpha[F], \qquad [F] = \dfrac{F + F_C^+}{2\sqrt{FF_C^+}}. \end{array}\right. \qquad (7)$$

(*) Séance du 13 juin 1960.

(1) C. Jaeger, *A review of surge tank stability criteria* (*Congrès annuel de la Société Américaine des Ingénieurs Mécaniciens*, New-Jersey, décembre 1959).

(2) D. Thoma, *Zur Theorie des Wasserschlosses bei selbstatig geregelten Turbinen*, Oldenburg, Munchen, 1910.

(3) J. Chevalier et M. Hug, *Essais de la cheminée d'équilibre de Cordeac en ce qui concerne la condition de Thoma* (*La Houille Blanche*, no 6, décembre 1957).

HYDRAULIQUE. — *Sur le calcul de la masse virtuelle d'un navire animé d'un mouvement oscillatoire en profondeur finie.* Note (*) de M. **Jean Sommet**, transmise par M. Henri Villat.

Les équations du mouvement du centre de gravité d'un navire peuvent être formées commodément lorsqu'on a déterminé ce qu'on est convenu d'appeler la masse virtuelle de la carène [*cf.* (1) et (2)] (3). On se propose d'évaluer celle-ci dans le cas d'un navire animé d'un mouvement oscillatoire horizontal dans son plan longitudinal. Ce résultat s'applique en particulier aux mouvements des navires amarrés dans un port soumis à des seiches.

La résistance R que le navire éprouve dans son mouvement à l'instant t s'écrit [*cf.* (4), nous reprenons toutes les notations de ce travail] :

$$\text{(1)} \qquad \mathrm{R} = -2\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{0}^{-h} \delta p\,\frac{\partial y}{\partial x}\,dx\,dz = 2\rho\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{0}^{-h}\left(\frac{\partial \Phi}{\partial t}\right)_{y=0} f(xz)\,dx\,dz.$$

Rappelons que $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3$, tels que $\partial\Phi_1/\partial t$ et $\partial\Phi_3/\partial t$ sont en quadrature avec la vitesse du navire. Les termes de pression correspondants sont donc en phase avec l'accélération et traduisent un accroissement fictif de l'inertie du navire.

La masse induite, ou masse ajoutée, du navire est alors donnée par

$$\text{(2)} \qquad m = \frac{2\rho}{\mathrm{C}}\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{0}^{-h}(\varphi_1 + \varphi_3)\,f(xz)\,dx\,dz,$$

où $\Phi_j = \varphi_j\,(xyz)\;e^{-ikt}$, φ_1 et φ_3 ont été explicités dans (4).

Posons

$$\text{(3)} \qquad \begin{cases} \mathrm{I}_n = \displaystyle\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{0}^{-h} f(xz)\cos p_n(z+h)\cos sx\,dx\,dz \\ \mathrm{J}_n = \displaystyle\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{0}^{-h} f(xz)\cos p_n(z+h)\sin sx\,dx\,dz \end{cases} \qquad (n = 1, 2, \ldots, \infty)$$

et soient I_0 et J_0 les intégrales introduites dans (3) correspondant à p_0.

On a alors

$$\text{(5)} \qquad \boxed{m = +\frac{4\rho}{\pi}\left[\sum_{n=0}^{\infty}\left(\int_{s=0}^{\infty}\frac{\mathrm{I}_n^2+\mathrm{J}_n^2}{h_n r'_n}\,ds\right) + \int_{s=p_0}^{\infty}\frac{\mathrm{I}_0^2+\mathrm{J}_0^2}{h_0 r'_0}\,ds\right]}.$$

où

$$h_n = h_0\left(1+\frac{\sin 2p_n h}{2p_n h}\right); \qquad r'_n = \sqrt{s^2+p_n^2}; \qquad p_n \operatorname{tg} p_n h = -\frac{k^2}{g};$$

$$h_0 = h\left(1+\frac{\operatorname{sh} 2p_0 h}{2p_0 h}\right); \qquad r_0 = \sqrt{s^2-p_0^2}; \qquad p_0 \operatorname{th} p_0 h = \frac{k^2}{g}.$$

Ainsi, la masse induite est, en général, fonction non seulement des formes du navire, mais aussi de la fréquence du mouvement, par l'intermédiaire de p_n et p_0.

Toutefois, on sait [*cf.* ([5])] que pour k grand et k petit, elle devient pratiquement indépendante de la période.

C'est dans ces deux éventualités que nous avons explicité, pour quelques formes particulières de carènes, l'expression de m.

Cas de la fréquence faible. — On considère une carène à *lignes d'eau polygonales* (*fig.* 1) que nous supposerons d'abord à *murailles verticales*

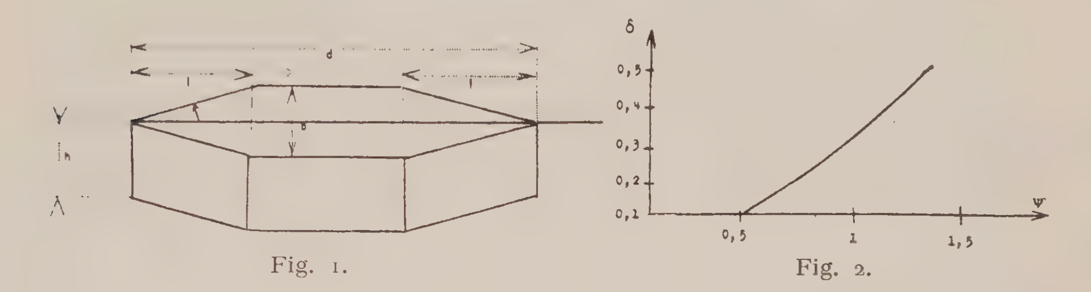


Fig. 1. Fig. 2.

descendant jusqu'au fond.

Posons

$$\gamma = \frac{b}{2l}.$$

Il vient alors

$$J_n = -\frac{2\gamma h}{s}\,\frac{\sin p_n h}{p_n h}\left[\cos s\frac{d}{2} - \cos s\left(\frac{d}{2} - l\right)\right],$$

$$J_0 = -\frac{2\gamma h}{s}\,\frac{\operatorname{sh} p_0 h}{p_0 h}\left[\cos s\frac{d}{2} - \cos s\left(\frac{d}{2} - l\right)\right].$$

Si h/L est petit, on peut écrire

$$p_0 \# \frac{k}{\sqrt{gh}}, \qquad p_n \# \frac{1}{h}(n\pi - \varepsilon_n), \qquad \text{avec} \quad \varepsilon_n \# \frac{k^2 h}{\pi n g} = \left(\frac{h}{L}\right)^2 \frac{4\pi}{n}$$

et, par suite,

$$(6) \qquad \boxed{m = \frac{8\rho}{\pi}\gamma^2 h\left[\frac{2k^4h^4}{\pi^6 g^2}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{n^6}\left(\frac{\pi^2 nl}{2h} - 1\right) + \frac{1}{2}dl\,\varphi(\delta)\right]},$$

où

$$\delta = \frac{l}{d} \qquad \text{et} \qquad \varphi(\delta) = \frac{1}{\delta}\operatorname{Log}\frac{(1-2\delta)^{\frac{1}{2}}}{1-\delta} - 2\operatorname{Log}\frac{1-2\delta}{1-\delta} + \delta\operatorname{Log}\frac{(1-2\delta)^2}{(1-\delta)\delta}.$$

L'expression de m est valable avec une approximation inférieure à 10 % si

$$(7) \qquad \frac{h}{L} < 0{,}09\left(\text{ou } \frac{T^2}{h} > 13{,}4 \text{ avec } h \text{ en mètres}\right) \qquad \text{et} \qquad \frac{d}{L} \leqq 0{,}2.$$

Ces inégalités sont généralement satisfaites dans les bassins portuaires pour des oscillations du type « seiches ». Dans ces conditions, la série figurant dans (3), qui converge rapidement, a une somme négligeable vis-à-vis

du deuxième terme ($< 1\,\%$) et l'on peut écrire

$$(4) \qquad m = \frac{4\rho}{\pi}\gamma^2 h\, dl\, \varphi(\delta).$$

Le coefficient de masse induite $\mu = m/\mathrm{M}$ (M, masse du navire) s'écrit dans ce cas :

$$(8) \qquad \mu = \frac{2}{\pi}\gamma\,\psi(\delta), \qquad \text{où} \quad \psi(\delta) = \frac{1}{1-2\delta}\varphi(\delta).$$

La figure 2 donne le graphique des variations de $\Psi(\delta)$.

Si d/L et h/L dépassent les limites (7), il est nécessaire d'introduire deux termes correctifs :

$$(9) \qquad m = m_0\left[1 - \mathrm{C}_1\left(\frac{h}{\mathrm{L}}\right) + \mathrm{C}_2\left(\frac{d}{\mathrm{L}}\delta\right)\right].$$

où m_0 est défini par (4) et où

$$\mathrm{C}_1\left(\frac{h}{\mathrm{L}}\right) = \frac{4\pi^2}{3}\left(\frac{h}{\mathrm{L}}\right)^2,$$

$$\mathrm{C}_2\left(\frac{d}{\mathrm{L}}\right) = \left(2\pi\frac{d}{\mathrm{L}}\right)^2 \frac{2}{\delta\,\varphi_1(\delta)}\left\{6\delta^2(1-\delta)^2\left[0{,}035 - 0{,}02\,\mathrm{Log}\left(2\pi\frac{d}{\mathrm{L}}\right)\right] - 0{,}020\,\varphi_2(\delta)\right\},$$

avec

$$\varphi_2(\delta) = \frac{1}{2}(1-2\delta)^4\,\mathrm{Log}(1-2\delta) - (1-\delta)^4\,\mathrm{Log}(1-\delta) - \delta^4\,\mathrm{Log}\,\delta.$$

Les limites de validité de C_1 et C_2 n'ont pas encore été déterminées.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) H. Lamb, *Hydrodynamics*, 6e éd., New-York.
(2) G. Birkhoff, *Hydrodynamique*, Dunod, Paris, 1955.
(3) Masse virtuelle = masse induite (ou ajoutée) + masse du navire.
(4) J. Sommet, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 415.
(5) G. Weinblum, *On hydrodynamic masses*, D. T. M. B., Rep. 809, avril 1952.

(*Société Grenobloise d'Études et d'Applications hydrauliques, Laboratoire de Mécanique des fluides de l'Université de Grenoble.*)

HYDRAULIQUE. — *Étude en valeurs adimensionnelles des courbes de remous dans les galeries cylindriques à profil circulaire.* Note de M. **Claude Thirriot**, transmise par M. Léopold Escande.

Par utilisation des grandeurs adimensionnelles la détermination des courbes de remous en galerie cylindrique à profil circulaire ne dépend que de deux paramètres fondamentaux. Des abaques obtenus par intégration numérique permettent de déterminer toute courbe de remous.

Moyennant les hypothèses habituelles, faible courbure des filets liquides, mouvement par tranches, on obtient les équations suivantes qui régissent le mouvement en régime graduellement varié

$$Q = v\Sigma = \text{Cte}, \tag{1}$$

$$v\frac{\partial v}{\partial x} + k\mathrm{V}^2 = -\frac{g}{b}\left(\frac{\partial \Sigma}{\partial x}\right) + gi, \tag{2}$$

avec les notations classiques :
x, élongation repérant la position de la section ;
Σ, section mouillée ;
b, largeur au miroir ;
v, vitesse ;
k, coefficient approprié de perte de charge ;
i, pente du radier.

La ligne d'eau obtenue par intégration de l'équation (2) dépend de six paramètres :
Φ, le diamètre fixant la dimension de la section ;
L, longueur de la galerie ;
i, pente de la galerie ;
k, coefficient de perte de charge ;
Q, débit ;
H_{aval}, indiquant le niveau dans la section de sortie.

En utilisant les valeurs réduites

$$x' = \frac{x}{\mathrm{L}}, \quad b' = \frac{b}{\Phi}, \quad \sigma = \frac{\Sigma}{\Phi^2}, \quad v' = \frac{v}{\mathrm{V}}, \quad q = \frac{\mathrm{Q}}{\mathrm{V}\Phi^2},$$

avec $g\Phi/\mathrm{V}^2 = 1$, on obtient

$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} = \frac{ai - k\mathrm{L}\dfrac{q^2}{\sigma^2}}{\dfrac{1}{b'} - \dfrac{q^2}{\sigma^3}}. \tag{3}$$

Pour la définition du paramètre k on utilise la formule de Strickler :

$$j = \frac{v^2}{k_s^2 \mathcal{R}^{\frac{4}{3}}}, \qquad \text{d'où} \qquad k = \frac{g}{k_s^2 \mathcal{R}^{\frac{1}{3}}}.$$

Mais en exprimant $\mathcal{R}$ à l'aide de la variable réduite

$$k = \frac{g}{k_s^2\,\Phi^{\frac{4}{3}}}\,\frac{1}{r^{\frac{4}{3}}}, \qquad k\mathrm{L} = \frac{ga}{k_s^2\,\Phi^{\frac{1}{3}}}\,\frac{1}{r^{\frac{1}{3}}}.$$

En désignant par R la quantité

$$\mathrm{R} = \frac{k_s^2\,\Phi^{\frac{1}{3}}}{g}$$

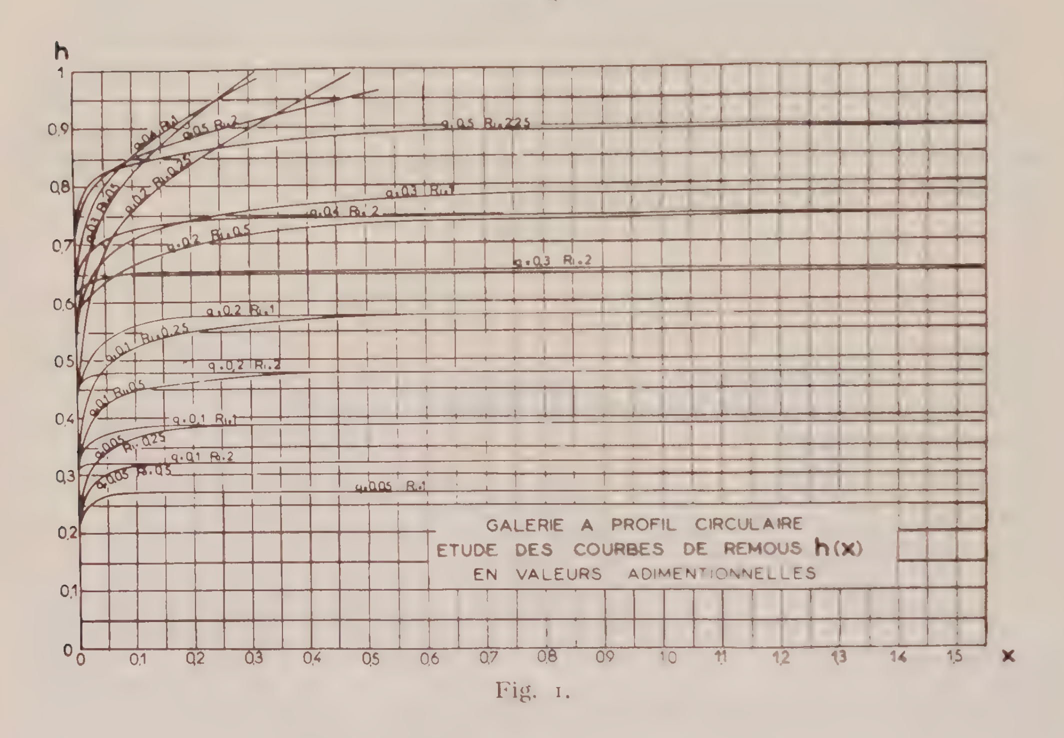


Fig. 1.

et en portant dans l'équation (3) avec $\mathrm{A} = ai$, il vient

$$(4) \qquad \frac{\partial\sigma}{\partial x} = \frac{\mathrm{A}\,\sigma\left(\sigma^2 - \dfrac{q^2}{\mathrm{R}_i}\,r^{-\frac{1}{3}}\right)}{\dfrac{\sigma^3}{b'} - q^2}.$$

L'intégration de (4) fait intervenir quatre paramètres :

— les coefficients de l'équation différentielle :

$\mathrm{A} = ai$;

q, valeur réduite du débit;

R_i, facteur dépendant de la pente, de la rugosité et du diamètre de la galerie;

— la condition à l'extrémité aval.

Dans une étude systématique on peut réduire encore le nombre de paramètres fondamentaux.

La courbe $\sigma(x)$ est définie à une translation près et σ_{aval} (ou H_{aval}) n'est pas un paramètre fondamental.

Le paramètre A n'est pas non plus fondamental car

$$\frac{d\sigma}{dx} = \frac{A\sigma\left(\sigma^2 - \frac{q_2}{R_i} r^{-\frac{4}{3}}\right)}{\frac{\sigma^3}{l'} - q^2} = Af(\sigma,\, q,\, R_i),$$

la relation ci-dessus définit, si A varie, une affinité orthogonale suivant les x.

En définitive, une étude générale des courbes de remous dans une galerie circulaire exige seulement de faire varier deux paramètres q et R_i.

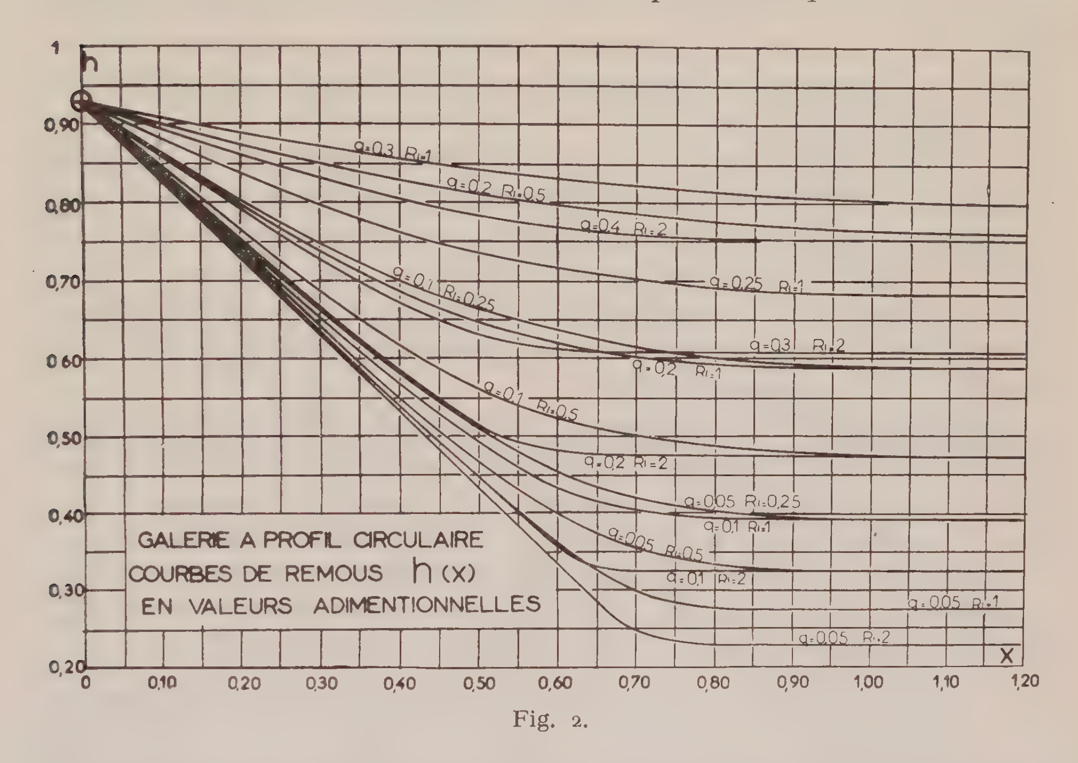


Fig. 2.

Nous avons procédé à l'intégration numérique de l'équation (4) et nous avons construit les abaques (*fig.* 1 et 2) permettant d'obtenir très rapidement la ligne d'eau d'un écoulement dans une galerie à profil circulaire.

La méthode est valable pour d'autres formes de profil. Ainsi pour les canaux à section trapézoïdale il suffit d'introduire un troisième paramètre : le fruit des berges.

Si l'on veut tenir compte du coefficient de répartition des vitesses α et du coefficient de pression β il suffit de prendre comme paramètres

$$q' = q\sqrt{\frac{\alpha}{\beta}}, \qquad A' = \frac{A}{\beta}.$$

MÉCANIQUE DES SOLS. — *Les propriétés mécaniques d'un sol après injection d'une solution de silicate et bicarbonate de sodium* Note (*) de MM. **Jean Biarez** et **Gérard Biguenet**, présentée par M. Albert Caquot.

Nous avons étudié en laboratoire les propriétés mécaniques de différents matériaux peu cohérents après mélange de solutions de silicate et bicarbonate de sodium de concentrations variables. Les essais ont été faits avec un sable propre sans cohésion; la solution était en quantité suffisante pour remplir tous les vides.

Nous avons fait varier la concentration volumétrique $1/\beta$ de la solution en silicate à 38° B et le rapport α du poids de bicarbonate sec exprimé en grammes au volume de silicate exprimé en centimètres cubes, ces notations étant celles utilisées par les spécialistes des injections.

Nous avons étudié en fonction des paramètres α et β les variations du temps de prise de la solution, de la cohésion du matériau qui a reçu l'injection et de sa perméabilité.

Temps de prise. — Il est intéressant d'obtenir un temps de prise qui ne soit pas trop court afin de permettre le déroulement des opérations d'injection. Les résultats sont portés dans la figure 1. Ils montrent que : pour une concentration en bicarbonate donnée, il est possible d'ajuster le rapport α pour obtenir un temps de prise de quelques minutes, mais qu'au-dessus d'un temps de prise de 20 mn, il devient très difficile de choisir la valeur de α qui donnera le temps de prise désiré.

Cohésion et angle de frottement. — Ces grandeurs ont été déterminées par essai triaxial. L'angle de frottement est peu affecté par la proportion de silicate. La résistance à la compression simple augmente avec la concentration de silicate comme le montre la figure 2. Il est à noter que la résistance à la compression simple du gel obtenu après prise d'une solution est toujours au moins 10 fois plus faible que celle du sable injecté avec la même solution.

Si les échantillons avec silicate sont écrasés puis recompactés à la même densité, on obtient une faible résistance mécanique due aux tensions superficielles du liquide intergranulaire; cette résistance est indépendante de la concentration en silicate.

Perméabilité. — Un premier résultat indique que la perméabilité diminue très vite lorsque la concentration de la solution injectée augmente (*fig.* 3) de 5.10^{-4} à 5.10^{-7} cm/s lorsque la concentration varie de 0 à 6, la perméabilité du gel étant 10^{-10} cm/s malgré une certaine dispersion des résultats.

Au cours des essais qui ont duré plusieurs mois, nous avons constaté une augmentation de la perméabilité avec le temps et aussi avec le gradient

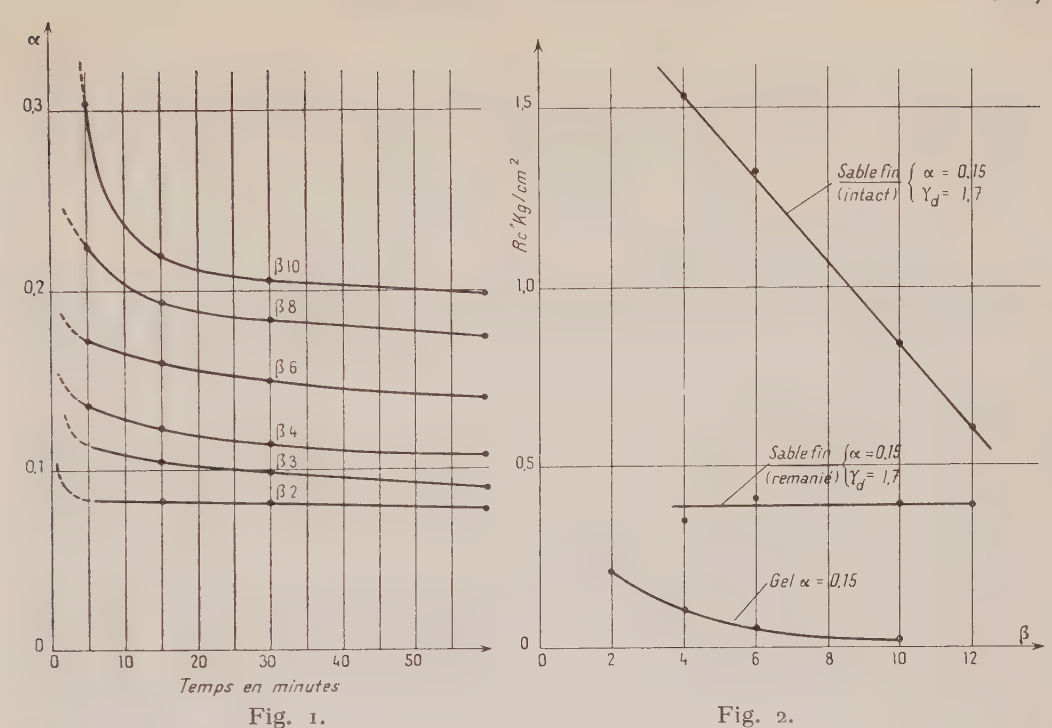


Fig. 1. Fig. 2.

Fig. 1. — Variation du temps de prise en fonction de α pour différentes valeurs de β.
Fig. 2. — Résistance à la compression simple : du gel de silice, du sable imprégné de gel en fonction de β.

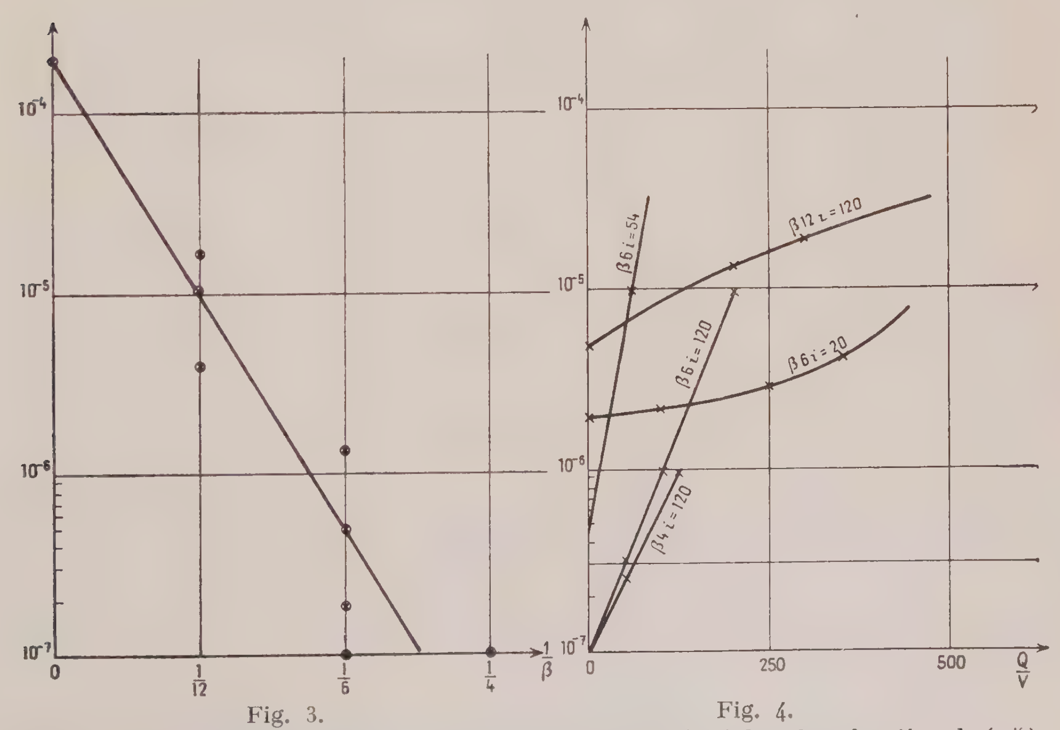


Fig. 3. Fig. 4.

Fig. 3. — Variation de la perméabilité du sable fin imprégné de gel en fonction de (1/β).
Fig. 4. — Variation de la perméabilité du sable fin imprégné de gel en fonction (Q/V) pour différentes valeurs de β et du gradient hydraulique.

hydraulique auquel l'échantillon a été soumis. Nous avons représenté la variation de la perméabilité en fonction du volume d'eau ayant traversé l'échantillon. La perméabilité, juste après injection, varie beaucoup avec la qualité du mélange. Les résultats se sont classés en deux séries (*fig.* 4).

1° Lorsque la perméabilité est faible au départ, elle augmente assez vite avec le volume d'eau;

2° Lorsque la perméabilité est forte au départ, le passage de grands volumes d'eau ne la fait pas augmenter aussi fortement : il convient de noter qu'on ne saurait d'ailleurs pas s'attendre à voir la perméabilité devenir plus forte que celle du sable pur qui, elle-même, augmente légèrement en fonction du volume écoulé.

La conductivité électrique du filtrat a été mesurée au cours de nos essais. Assez forte au début de la percolation, elle a diminué au cours de l'écoulement et est tombée à des valeurs insensibles à la mesure alors que la perméabilité continuait à augmenter.

Pour terminer, nous devons signaler que, malgré la longue durée de nos essais dont certains ont duré plusieurs mois, nous avons dû, pour obtenir des résultats, opérer sur des gradients hydrauliques beaucoup plus élevés que ceux qu'on rencontre au cours des travaux. Ceci explique que les procédés d'injection avec un mélange silicate-bicarbonate puissent donner une étanchéité satisfaisante pour des travaux de durée limitée et pour des gradients hydrauliques existant dans la nature.

(*) Séance du 13 juin 1960.

(*Laboratoires de Mécanique des Fluides, Grenoble.*)

RELATIVITÉ. — *Quelques remarques sur le schéma matière pure dans une théorie asymétrique du champ de gravitation pure [d'après D. W. Siama* (1) *et O. Costa de Beauregard* (2)]. Note de Mmes **Marie-Antoinette Tonnelat** et **Liane Bouche**, présentée par M. Louis de Broglie.

Le quadrivecteur-vitesse unitaire est partout tangent à une géodésique d'un espace de Riemann, mais l'équation de continuité du milieu n'est plus vérifiée. Application à l'isomorphisme de Costa de Beauregard entre deux espaces de Riemann de métriques $h_{\alpha\beta}$ et $\gamma_{\alpha\beta}$.

D. W. Sciama (1) a montré, en partant d'un principe variationnel, dont le lagrangien s'écrit (3)

$$\mathcal{L} = \mathcal{G}^{\alpha\beta} R_{\alpha\beta} + \mathcal{L}', \qquad \text{avec} \qquad \frac{\partial \mathcal{L}'}{\partial g^{\alpha\beta}} = -\sqrt{-g}\, T_{\alpha\beta},$$

que le tenseur $T_{\alpha\beta}$ (tenseur impulsion-énergie non obligatoirement symétrique) satisfaisait à des équations de conservation :

$$\partial_\nu (\sqrt{-g}\, T_\mu{}^\nu) + \frac{1}{2}\sqrt{-g}\, T_{\alpha\beta}\, \partial_\mu g^{\alpha\beta} = 0, \tag{1}$$

avec

$$T_\mu{}^\nu = \frac{1}{2}(g^{\nu\lambda} T_{\mu\lambda} + g^{\lambda\nu} T_{\lambda\mu}).$$

Si l'on suppose $T_{\alpha\beta}$ symétrique, l'équation (1) devient

$$\partial_\nu \left(\mathcal{G}^{\underline{\nu\lambda}} T_{\mu\lambda}\right) + \frac{1}{2}\sqrt{-g}\, T_{\alpha\beta}\, \partial_\mu g^{\underline{\alpha\beta}} = 0,$$

or, si l'on pose

$$h_{\alpha\beta}\, g^{\underline{\alpha\gamma}} = \delta^\gamma_\beta \qquad \text{et} \qquad h = \text{dét}(h_{\alpha\beta}),$$

l'équation peut s'écrire tensoriellement

$$\boxed{\nabla_\mu T_\rho{}^\mu = T_\rho{}^\mu \frac{\partial_\mu \sqrt{\dfrac{h}{g}}}{\sqrt{\dfrac{h}{g}}}} \tag{2}$$

(∇_μ représentant la différentiation covariante dans l'espace de Riemann de métrique $h_{\alpha\beta}$).

Si l'on se place alors dans le schéma fluide parfait en posant $T_{\mu\nu} = \rho u_\mu u_\nu$ avec

$$g^{\mu\nu} u_\mu u_\nu = g^{\underline{\mu\nu}} u_\mu u_\nu = 1 \qquad \text{et} \qquad u^\mu = g^{\underline{\mu\lambda}} u_\lambda, \tag{3}$$

il vient

$$\nabla_\mu (\rho u_\alpha u^\mu) = \rho u_\alpha u^\mu \frac{\partial_\mu \sqrt{\dfrac{h}{g}}}{\sqrt{\dfrac{h}{g}}}.$$

Développons

$$(4) \qquad \rho u^\mu \nabla_\mu u_\alpha + u_\alpha \nabla_\mu(\rho u^\mu) \equiv \rho u_\alpha u^\mu \frac{\partial_\mu \sqrt{\frac{h}{g}}}{\sqrt{\frac{h}{g}}}.$$

Ce qui montre que les lignes de courant sont autoparallèles, c'est-à-dire sont des géodésiques de la métrique $h_{\alpha\beta}$.

De plus, si l'on multiplie (4) par u^α, il vient, compte tenu de (3),

$$(5) \qquad \boxed{\nabla_\mu(\rho u^\mu) = \rho u^\mu \frac{\partial_\mu \sqrt{\frac{h}{g}}}{\sqrt{\frac{h}{g}}}.}$$

Donc si g n'est pas proportionnel à h, c'est l'équation (5) qui remplace l'équation de continuité du milieu.

En tenant compte de (5), (4) peut s'écrire

$$(6) \qquad \boxed{\rho u^\mu \nabla_\mu u_\alpha = 0,}$$

(4) montrait que u_μ décrivait une géodésique de la métrique $h_{\alpha\beta}$, sans faire d'hypothèse sur la quadrivitesse u_μ ; (6) est une équation qui n'est vraie que si la quadrivitesse u^μ est unitaire.

Appliquons ces résultats à l'isomorphisme de O. Costa de Beauregard [2] entre deux espaces de Riemann, de métriques $h_{\alpha\beta}$ et $\gamma_{\alpha\beta}$.

Cet isomorphisme est défini par les relations

$$(7) \qquad u^\mu = g^{\mu\nu} v_\nu, \qquad v_\mu = g_{\nu\mu} u^\nu,$$

$$(8) \qquad u_\mu = g_{\mu\nu} v^\nu, \qquad v^\mu = g^{\nu\mu} u_\nu.$$

$$(9) \qquad u^\mu = g^{\overset{\mu\nu}{-}} u_\nu = h^{\mu\nu} u_\nu, \qquad u_\mu = h_{\mu\nu} u^\nu,$$

$$(10) \qquad v_\mu = g_{\mu\nu} v^\nu = \gamma_{\mu\nu} v^\nu, \qquad v^\mu = \gamma^{\mu\nu} v_\nu.$$

On identifie l'espace de métrique $h_{\alpha\beta}$, H, avec son dual H* par l'isomorphisme (9), celui de métrique $\gamma_{\alpha\beta}$, Γ, avec son dual Γ*, par l'isomorphisme (10), et l'isomorphisme entre H* et Γ est donné par (8) et entraîne l'isomorphisme (7) entre H et Γ* (et inversement). Les formules qui permettent alors de passer d'une métrique à l'autre s'écrivent

$$(11) \qquad h_{\mu\nu} = g_{\mu\rho} g_{\nu\sigma} \gamma^{\rho\sigma} = \gamma_{\mu\nu} + \varphi_{\mu\rho} \varphi_{\nu\sigma} \gamma^{\rho\sigma}.$$

Notre intention est de chercher ce que devient l'équation (6) considérée dans l'espace Γ, au premier ordre d'approximation, en prenant les $\varphi_{\alpha\beta}$ comme des infiniment petits du premier ordre de l'ordre de ε.

Or (11) montre qu'on peut écrire

$$u_\mu = v_\mu + \varphi_{\mu\lambda} v^\lambda, \qquad u^\mu = v^\mu + \gamma^{\mu\lambda} \varphi_{\lambda\sigma} v^\sigma + o(\varepsilon^2)$$

et au premier ordre, la dérivation covariante dans la métrique $h_{\alpha\beta}$ est équiva-

lente à la dérivation covariante dans la métrique $\gamma_{\alpha\beta}$, donc (6) peut s'écrire

$$v^\mu \overset{\gamma}{\nabla}_\mu v_\alpha + v^\mu \overset{\gamma}{\nabla}_\mu (\varphi_{\alpha\lambda} v^\lambda) + \gamma^{\mu\lambda} \varphi_{\lambda\sigma} v^\sigma \overset{\gamma}{\nabla}_\mu v_\alpha + o(\varepsilon^2) = 0.$$

Ce qui montre que $v^\mu \overset{\gamma}{\nabla}_\mu v_\alpha$ est du premier ordre au moins, on peut donc écrire

$$\boxed{v^\mu \nabla_\mu v_\alpha + v^\mu v^\lambda \nabla_\mu \varphi_{\alpha\lambda} + \gamma^{\mu\lambda} \varphi_{\lambda\sigma} v^\sigma \nabla_\mu v_\alpha + o(\varepsilon^2) = 0.} \tag{12}$$

En remarquant que la relation

$$\varphi_{\mu\nu} = g_{\mu\alpha} g_{\nu\beta} \overset{\alpha\beta}{\underset{\vee}{g}}$$

entraîne au premier ordre d'approximation

$$\varphi_{\mu\nu} = \gamma_{\alpha\mu} \gamma_{\beta\nu} \overset{\alpha\beta}{\underset{\vee}{g}} + o(\varepsilon^2),$$

on peut encore transformer l'équation (12) en écrivant

$$\boxed{v^\mu \nabla_\mu v^\alpha = - u_\lambda \left(v^\mu \nabla_\mu \overset{\alpha\lambda}{\underset{\vee}{g}} + \overset{\mu\lambda}{\underset{\vee}{g}} \nabla_\mu v^\alpha \right) + o(\varepsilon^2).} \tag{13}$$

Si l'on suppose que $\nabla_\mu v^\alpha$ est du premier ordre, on retrouve bien le résultat heuristique de O. Costa de Beauregard (²) dans l'hypothèse d'un effet gravitationnel de spin.

(¹) D. W. Sciama, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 54, 1958, p. 72-80.

(²) O. Costa de Beauregard, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 984.

(³) Les notations sont celles de M.-A. Tonnelat, *La théorie du champ unifié d'Einstein*, Gauthier-Villars, Paris, 1955.

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Une représentation du champ de radiation électromagnétique.* Note (*) de M. **Achille Papapetrou**, présentée par M. Louis de Broglie.

Considérons les équations de Maxwell jointes à la condition de Lorentz :

$$\square A^{\mu} = 0, \qquad A^{\mu}{}_{,\mu} = 0. \tag{1}$$

La solution générale de la première équation (1) représentant un champ de radiation électromagnétique [1] peut être écrite comme une superposition d'ondes planes [2] :

$$A = \sum_{\lambda} f^{\mu}_{(\lambda)} \sin(\xi_{(\lambda)\sigma} x^{\sigma} + \alpha_{(\lambda)}). \tag{2}$$

Les constantes $\xi_{(\lambda)\sigma}$ sont les composantes de vecteurs de longueur nulle arbitraires :

$$\eta^{\rho\sigma} \xi_{(\lambda)\rho} \xi_{(\lambda)\sigma} = 0 \qquad \text{(pour toutes les valeurs de } \lambda\text{)}. \tag{3}$$

La seconde des équations (1) conduit à une condition d'orthogonalité :

$$f^{\mu}_{(\lambda)} \xi_{(\lambda)\mu} = 0 \qquad \text{(pour chaque } \lambda\text{)}. \tag{4}$$

Introduisons les trois matrices antisymétriques suivantes [3] :

$$K^{\alpha\beta}_{(1)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \qquad K^{\alpha\beta}_{(2)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \qquad K^{\alpha\beta}_{(3)} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \tag{5}$$

Il est alors possible d'exprimer les constantes $f^{\mu}_{(\lambda)}$ à l'aide de quatre nouvelles constantes $\rho_{(\lambda)\alpha}$ ($\alpha = 0, 1, 2, 3$) par la relation

$$f^{\mu}_{(\lambda)} = \rho_{(\lambda)0} \eta^{\mu\alpha} \xi_{(\lambda)\alpha} + \sum_{i=1}^{3} \rho_{(\lambda)i} K^{\mu\alpha}_{(i)} \xi_{(\lambda)\alpha}. \tag{6}$$

Les valeurs de $\rho_{(\lambda)\alpha}$ ne sont pas univoquement déterminées par celles de $f^{\mu}_{(\lambda)}$. Elles sont déterminées à un paramètre arbitraire près, à cause de l'identité suivante :

$$\sum_{i=1}^{3} \xi_{(\lambda)i} K^{\alpha\beta}_{(i)} \xi_{(\lambda)\beta} = 0 \qquad \text{(pour chaque } \lambda\text{)}. \tag{7}$$

On déduit de cette identité que les relations (6) seront encore satisfaites si l'on remplace les $\rho_{(\lambda)i}$ ($i = 1, 2, 3$) par $\rho_{(\lambda)i} + s\xi_{(\lambda)i}$, s étant arbitraire.

En portant (6) dans (2) et en posant

$$-\sum_{\lambda} \rho_{(\lambda)0} \cos(\xi_{(\lambda)\sigma} x^{\sigma} + \alpha_{(\lambda)}) = w_{(0)}, \qquad -\sum_{\lambda} \rho_{(\lambda)i} \cos(\xi_{(\lambda)\sigma} x^{\sigma} + \alpha_{(\lambda)}) = w_{(i)}, \tag{8}$$

on obtient pour A^{μ} :

$$A^{\mu} = \eta^{\mu\alpha} w_{(0),\alpha} + \sum_{i=1}^{3} K^{\mu\alpha}_{(i)} w_{(i),\alpha}. \tag{9}$$

Cette expression contient les quatre fonctions $w_{(\alpha)}$ qui sont, d'après (8), des fonctions d'ondes

$$\square\, w_{(\alpha)} = 0. \tag{10}$$

Mais ces quatre fonctions ne sont pas toutes indépendantes, ce qui correspond à la non-indépendance des constantes $\rho_{(\lambda\alpha)}$ d'après (7). Pour s'en convaincre il suffit de considérer une fonction v satisfaisant par exemple aux relations

$$v_{,3} = w_{(3)}, \qquad \square\, v = 0. \tag{11}$$

On vérifie alors aisément l'identité

$$\mathrm{K}^{\mu\alpha}_{(3)} w_{(3),\alpha} = -\mathrm{K}^{\mu\alpha}_{(1)} v_{,1\alpha} - \mathrm{K}^{\mu\alpha}_{(2)} v_{,2\alpha}. \tag{12}$$

De cette identité on déduit immédiatement la relation

$$\sum_{i=1}^{3} \mathrm{K}^{\mu\alpha}_{(i)} w_{(i),\alpha} = \sum_{i=1}^{2} \mathrm{K}^{\mu\alpha}_{(i)} w'_{(i),\alpha}$$

avec $w'_{(1)} = w_{(1)} - v_{,1}$ et $w'_{(2)} = w_{(2)} - v_{,2}$. De plus, on remarquera que le premier terme du second membre de (9) ne contribue pas au champ électromagnétique $\mathrm{F}_{\mu\nu} = \mathrm{A}_{\nu,\mu} - \mathrm{A}_{\mu,\nu}$. Ce terme peut donc être éliminé par une transformation de jauge et l'on a par conséquent le droit de le supprimer. Nous sommes ainsi arrivé au résultat suivant : le champ de radiation électromagnétique général dépend essentiellement de deux fonctions d'ondes indépendantes. Nous pouvons écrire

$$\mathrm{A}^{\mu} = \sum_{i} \mathrm{K}^{\mu\alpha}_{(i)} w_{(i),\alpha}, \tag{13}$$

le symbole $\sum_{i}$ indiquant la sommation sur deux des trois valeurs $i = 1, 2, 3$, choisies arbitrairement.

Au lieu des matrices (5) on peut faire usage des matrices

$$\mathrm{K}^{\alpha\beta}_{(4)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathrm{K}^{\alpha\beta}_{(5)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \mathrm{K}^{\alpha\beta}_{(6)} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}. \tag{14}$$

On arrive à un résultat identique au précédent. La discussion plus détaillée montre qu'on peut aussi combiner les matrices (5) et (14). Il suffira de faire usage de l'identité

$$-\mathrm{K}^{\alpha\beta}_{(1)} v_{,2\beta} + \mathrm{K}^{\alpha\beta}_{(2)} v_{,1\beta} = \mathrm{K}^{\alpha\beta}_{(6)} v_{,0\beta} + \eta^{\alpha\beta} v_{,3\beta}, \tag{15a}$$

valable pour une fonction d'onde v, ainsi que de l'identité

$$\mathrm{K}^{\alpha\beta}_{(3)} w_{,0\beta} = \mathrm{K}^{\alpha\beta}_{(4)} w_{,2\beta} - \mathrm{K}^{\alpha\beta}_{(5)} w_{,1\beta} \tag{15b}$$

[et des identités analogues déduites de (15 *a*) et de (15 *b*) par une permutation cyclique simultanée des (1), (2), (3) et des (4), (5), (6)]. Le résultat final est que le champ de radiation électromagnétique général peut être exprimé par (13), l'indice de sommation i prenant deux quelconques des six valeurs 1, 2, ..., 6.

(*) Séance du 20 juin 1960.

([1]) Les champs statiques nécessiteraient quelques considérations supplémentaires.

([2]) Dans le cas général il y aura dans le deuxième membre de (2) une sommation discrète ainsi qu'une intégrale de Fourier; mais il suffit de se servir de la formule simplifiée (2).

([3]) *Voir* J. L. SYNGE, *Relativity. The special theory*, Amsterdam, 1956, p. 363.

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Forme possible des fonctions d'ondes relativistes associées au mouvement et à la structure des particules élémentaires, au niveau nucléaire.* Note de (*) MM. **Pierre Hillion** et **Jean-Pierre Vigier**, présentée par M. Louis de Broglie.

Dans le cas de particules à symétrie hypersphérique étendues dans l'espace-temps, les équations du mouvement sont invariantes sous le groupe SL_4 des transformations spéciales de Lorentz et les équations décrivant la structure interne des particules élémentaires l'étant sous le groupe R_3^* des rotations complexes, il en résulte que les fonctions d'onde globales appartiennent aux représentations irréductibles obtenues par le produit direct des représentations irréductibles de SL_4 et R_3^* au niveau nucléaire.

1. Dans une Note précédente [1], on a montré que si les particules élémentaires ont une extension spatiale, leur mouvement est invariant sous le groupe SL_4 des transformations spéciales de Lorentz tangentes à leur ligne d'univers moyenne. Quant à la structure interne de ces particules, on a développé dans une série de travaux antérieurs [2] une théorie invariante sous le groupe R_3^* des rotations complexes. Nous résumerons ci-dessous les propriétés de ces deux groupes :

a. SL_4 est un groupe à un paramètre abélien et connexe. Ses représentations irréductibles sont donc du premier ordre et on les obtient comme solutions de l'équation d'onde :

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2} - \chi^2\right)\psi(z, t) = 0$$

soit

$$\psi(z, t) = e^{j(\mathrm{k}z - \mathrm{k}_0 ct)} \quad \text{avec} \quad \mathrm{k}^2 - \mathrm{k}_0^2 + \chi^2 = 0, \qquad j^2 = -1.$$

b. R_3^* est un groupe complexe à six paramètres. C'est la forme complexe du groupe réel R_3 des rotations à trois dimensions au sens suivant : Dans la théorie des groupes de Lie, le complexifié d'un groupe est défini ainsi : si G est un groupe de Lie réel opérant sur une variété euclidienne V_n, la forme complexe $\overline{G}$ opérant sur une variété V_{2n} est obtenue en remplaçant les coordonnées réelles dans G par des coordonnées complexes. Si le nombre de paramètres du groupe réel G est pair, on peut définir une autre complexification en remplaçant les $2n$ paramètres réels par n paramètres complexes ; on passe alors d'une variété euclidienne V_n à une variété pseudo-euclidienne V'_n. On désignera par G^* le groupe ainsi complexifié. R_3^* est déduit de cette façon du groupe orthogonal dans V_4.

R_3^* est en outre localement isomorphe au groupe GL_4 des transformations générales de Lorentz, connexe, et il admet des représentations dans un groupe compact.

Ses représentations pseudo-unitaires finies $D(l^-, l^-)$ et $D(l^-, l^+)$ sont caractérisées par deux nombres réels positifs l^+ et l^- prenant indépendamment l'un de l'autre des valeurs entières ou demi-entières. Formel-

lement les représentations $D(l^+, 0)$ et $D(0, l^-)$ sont obtenues à partir des représentations $D(l)$ de R_3 en remplaçant les angles d'Euler $\omega = (\varphi, \theta, \psi)$ par leurs correspondants complexes $\omega^+ = (\varphi^+, \theta^+, \psi^+)$ et $\omega^- = (\varphi^-, \theta^-, \psi^-)$. De plus, $D(l^+, 0)$ et $D(0, l^-)$ n'étant pas équivalents, on a

$$D(l^+, l^-) = D(l^+, 0) \otimes D(0, l^-).$$

où $\otimes$ indique le produit direct.

Les éléments de ces représentations sont les fonctions $Z^{m^+, m^-, m'}_{l^+, l^-, s'}(\omega^+, \omega^-)$ formant une base complète de l'espace de Hilbert constitué avec les vecteurs propres des opérateurs de rotation. Il vient

$$\left(Z^{m^+, m^-, m'}_{l^+, l^-, s'}(\omega^+, \omega^-) \,\middle|\, Z^{n^+, n^-, n'}_{k^+ k^-, l'}(\omega^+, \omega^-)\right) = \delta_{k^+ l^+}\, \delta_{k^- l^-}\, \delta_{s' l'}\, \delta_{m' n'}\, \delta_{m^+ n^+}\, \delta_{m^- n^-}$$

les nombres quantiques admettent les valeurs suivantes :

$$s' = l^+ + l^-,\ \ldots,\ |l^+ - l^-|,$$
$$m' = -s',\quad -s'+1,\quad \ldots,\quad s',$$
$$m^\pm = -l^\pm,\quad -l^\pm + 1,\quad \ldots,\quad l^\pm.$$

Les fonctions d'ondes associées à la structure appartiennent aux lignes des matrices représentations; les éléments de chaque ligne constituant un sous-espace vectoriel de l'espace de Hilbert. Ce sont des spineurs si $l^+ + l^-$ est demi-entier des tenseurs si $l^+ + l^-$ est entier ([3]).

2. La fonction d'onde globale appartient donc aux représentations irréductibles du produit direct des groupes R_4^* et SL_4. On obtient ainsi une généralisation de l'approximation non relativiste ([4]) puisque SL_4 est abélien.

Nous allons expliciter les résultats pour les représentations $D(1/2, 0)$, $D(0, 1/2)$ et $D(1/2, 1/2)$ de R_4^*.

a. Représentations $D(1/2, 0)$ et $D(0, 1/2)$: les fonctions d'onde de $D(1/2, 0)$ sont associées à l'électron et au neutrino:

$$\chi_e = \begin{bmatrix} -Z^{\frac{1}{2}, 0, -\frac{1}{2}}_{\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}}(\omega^+, \omega^-) \\ Z^{\frac{1}{2}, 0, -\frac{1}{2}}_{\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}}(\omega^+, \omega^-) \end{bmatrix}, \qquad \chi_\nu = \begin{bmatrix} Z^{\frac{1}{2}, 0, -[illegible]}_{\frac{1}{2}, [illegible]}(\omega^+, \omega^-) \\ Z^{[illegible]}_{[illegible]}(\omega^+, \omega^-) \end{bmatrix}.$$

D'où les fonctions d'onde globales :

$$\Phi_{(e)}(z, t, \omega^+, \omega^-) = e^{i(Kz - K_0 ct)}\chi_e \qquad \text{et} \qquad \Phi_\nu(z, t, \omega^+ \omega^-) = e^{i(Kz - K_0 ct)}\chi_\nu.$$

Pour obtenir les fonctions d'onde des antiparticules il faudrait dans ces expressions remplacer $Z^{m^+, m^-, m'}_{1/2, 0, 1/2}(\omega^+, \omega^-)$ par $Z^{-m^+, m^-, -m'}_{1/2, 0, 1/2}(\omega^+, \omega^-)$. Les fonctions d'onde de la représentation $D(0, 1/2)$ qui dans notre théorie sont associées aux particules μ et Λ_0 découlent des précédentes en changeant $Z^{m^+, m^-, m'}_{1/2, 0, 1/2}(\omega^+, \omega^-)$ en $Z^{m^-, m^+, m'}_{0, 1/2, 1/2}(\omega^+, \omega^-)$, représentations $D(1/2, 1/2)$.

b. Les fonctions d'onde de $D(1/2, 1/2)$ qui correspondent aux mésons K sont des quadrivecteurs.

Nous donnerons ci-dessous l'un de ces quatre quadrivecteurs :

$$A_\mu(\omega^+, \omega^-) = \begin{bmatrix} A_1 = -\frac{1}{2}\left(Z^{\frac{1}{2},\frac{1}{2},0}_{\frac{1}{2},\frac{1}{2},0}(\omega^+, \omega^-) + Z^{-\frac{1}{2},-\frac{1}{2},0}_{\frac{1}{2},\frac{1}{2},0}(\omega^+, \omega^-)\right) \\ A_2 = \frac{1}{2i}\left(Z^{\frac{1}{2},\frac{1}{2},0}_{\frac{1}{2},\frac{1}{2},0}(\omega^+, \omega^-) - Z^{-\frac{1}{2},-\frac{1}{2},0}_{\frac{1}{2},\frac{1}{2},0}(\omega^+, \omega^-)\right) \\ A_3 = \frac{1}{2}\left(Z^{\frac{1}{2},-\frac{1}{2},0}_{\frac{1}{2},\frac{1}{2},0}(\omega^+, \omega^-) + Z^{-\frac{1}{2},\frac{1}{2},0}_{\frac{1}{2},\frac{1}{2},0}(\omega^+, \omega^-)\right) \\ A_4 = \frac{1}{2i}\left(Z^{\frac{1}{2},-\frac{1}{2},0}_{-\frac{1}{2},\frac{1}{2},0}(\omega^+, \omega^-) - Z^{-\frac{1}{2},\frac{1}{2},0}_{\frac{1}{2},\frac{1}{2},0}(\omega^+, \omega^-)\right) \end{bmatrix}.$$

la fonction d'onde globale s'écrit donc

$$\Phi(z, t, \omega^+, \omega^-) = e^{i(Kz - E_0 ct)} A_\mu(\omega^+, \omega^-).$$

On généraliserait ces résultats de façon évidente à l'une quelconque des représentations $D(l^+, l^-)$ de R'_3.

Ces résultats montrent que dans les interactions les fonctions d'onde interne associée à la structure des particules élémentaires auront une influence primordiale. Il est, en outre, clair comme on l'avait remarqué dans une Note précédente (4) que toutes les propriétés des particules seront fournies par les fonctions d'onde $\chi(\omega^+, \omega^-)$ et par les opérateurs de l'algèbre de Lie de R'_3.

(*) Séance du 13 juin 1960.

(1) P. Hillion et J. P. Vigier, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 4117.

(2) P. Hillion et J. P. Vigier, *Le groupe des rotations complexes et l'espace-temps de la relativité spéciale.*

(3) P. Hillion et J. P. Vigier, *New isotopic spin space and classification of elementary particles* soumis au Nuovo Cimento.

(4) P. Hillion et J. P. Vigier, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3131.

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Sur la quantification du tenseur énergie-impulsion en milieu diélectrique*. Note (*) de M. **Rolf Dobbertin**, présentée par M. Louis de Broglie.

On quantifie le tenseur énergie-impulsion d'un milieu parfaitement isolant en faisant appel à un lagrangien d'une structure simplifiée qui, joint à une condition de Lorentz généralisée, conduit aux équations des champs classiques.

Pour quantifier le champ électromagnétique dans un milieu diélectrique parfait en mouvement, nous partons du lagrangien

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2\mu}(A_{ik}A^{ik} - \alpha q^i q^k A_{ji} A^j{}_k).$$

Ce milieu est caractérisé par les constantes matérielles ε et μ ; soit q_i sa vitesse.

$$\alpha = \varepsilon\mu - 1 = n^2 - 1, \qquad c = \hbar = 1$$

Soit $g_{11} = g_{22} = g_{33} = -g_{00} = 1$ la métrique adoptée. Les A_i sont les potentiels du champ électromagnétique. On a

$$(1) \qquad H_{ik} = \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial A^{ik}} = \frac{1}{\mu}(A_{ik} - \alpha q_k q^j A_{ij}).$$

d'où l'équation du champ

$$(2) \qquad \frac{\partial}{\partial x_k} H_{ik} = \left(\frac{\partial}{\partial x_k}\frac{\partial}{\partial x^k} - \alpha q^\alpha q^\beta \frac{\partial}{\partial x^\alpha}\frac{\partial}{\partial x^\beta}\right) A_i = 0.$$

En vue d'établir la correspondance avec la théorie classique, introduisons une condition de Lorentz définie par

$$(3) \qquad \chi = \frac{1}{\mu}(A^k{}_k - \alpha q^k q^j A_{kj}).$$

Les équations habituelles du champ électromagnétique dans le cas actuel sont

$$-\frac{\partial}{\partial x_k} H_{ik} + (g_{ik} - \alpha q_i q_k)\frac{\partial}{\partial x_k}\chi - \frac{\partial}{\partial x_k} F_{ik} = 0,$$

avec $F_{ik} = (1/\mu)\, H_{ik} + (\alpha/\mu)\,(q_i q^\alpha H_{k\alpha} - q_k q^\alpha H_{i\alpha})$ et $H_{ik} = A_{ki} - A_{ik}$. Notre tenseur canonique d'énergie-impulsion est

$$(4) \qquad T_{ik} = H_{jk} A^j{}_i - g_{ik}\mathcal{L}.$$

Nous passons à l'espace des impulsions par la transformation

$$(5) \qquad A_i(x) = (2\pi)^{-\frac{3}{2}} \int \tilde{A}_i(k)\, e^{ikx}\, dk.$$

Par (2) il vient $(k_\alpha k^\alpha - \alpha q^\alpha q^\beta k_\alpha k_\beta)\,\tilde{A}_i(k) = 0$. Cette équation est satisfaite par

$$(6)\qquad \tilde{A}_i(k) = \left(\frac{\mu(k_a - k_b)}{1+\alpha q_0^2}\right)^{\frac{1}{2}} \delta(k_\alpha k^\alpha - \alpha q^\alpha q^\beta k_\alpha k_\beta)\, a_i(k)$$

et

$$k_\alpha k^\alpha - \alpha q^\alpha q^\beta k_\alpha k_\beta = -(1+\alpha q_0^2)(k_0 - k_a)(k_0 - k_b) = 0,$$

avec

$$k_{a,b} = (1+\alpha q_0^2)^{-1}\left[\alpha q_0(\vec{q}.\vec{k}) \pm \left((1+\alpha q_0^2)\vec{k}^2 - \alpha(\vec{q}.\vec{k})^2\right)^{\frac{1}{2}}\right].$$

Portant (5) dans (6), on obtient après intégration sur k_0 :

$$A_i(x) = (2\pi)^{-\frac{3}{2}} \int \left(\frac{\mu}{(1+\alpha q_0^2)(k_a - k_b)}\right)^{\frac{1}{2}} (a_i^{(+)}(\varkappa)\, e^{-i\varkappa x} + a_i^{(-)}(\varkappa)\, e^{i\varkappa x})\, d\vec{k},$$

où $\varkappa x = \vec{k}.\vec{x} - k_a x_0$. Posons alors les relations de commutation

$$(7)\qquad [a_i^{(-)}(\varkappa), a_j^{(+)}(\varkappa')] = g_{ij}\,\delta(\vec{k} - \vec{k}'),\qquad [a_i^{(-)}(\varkappa), a_j^{(-)}(\varkappa')] = [a_i^{(+)}(\varkappa), a_j^{(+)}(\varkappa')] = 0.$$

Au moyen de ces relations on peut calculer la fonction de commutation $D(x - x')$ dans

$$(8)\qquad [A_i(x), A_j(x')] = -i g_{ij}\, D(x - x').$$

Il vient

$$D(x) = i(2\pi)^{-3} \int \frac{\mu}{(1+\alpha q_0^2)(k_a - k_b)} (e^{i\varkappa x} - e^{-i\varkappa x})\, d\vec{k}.$$

A l'aide de cette fonction et (1) et (8), on obtient après un calcul direct les relations de commutation canoniques bien connues. Par conséquent (7) est justifié.

Décomposons A_j dans quatre directions orthogonales.

$$(9)\qquad A_j(x) = (2\pi)^{-\frac{3}{2}} \int \left(\frac{\mu}{(1+\alpha q_0^2)(k_a - k_b)}\right)^{\frac{1}{2}} e_j^\alpha (b_\alpha^{(+)}(\varkappa)\, e^{-i\varkappa x} + b_\alpha^{(-)}(\varkappa)\, e^{i\varkappa x})\, d\vec{k},$$

Avec $e_j^\alpha e^{j\beta} = g^{\alpha\beta}$. La forme (7) des relations de commutation ne change pas pour les b_α. De ces deux équations découle

$$(10)\qquad \int A_{ji}(x)\, A^j{}_k(x)\, d\vec{x} = \int \frac{2\mu}{(1+\alpha q_0^2)(k_a - k_b)} \left(\varkappa_i \varkappa_k\, N(\vec{k}) + \varkappa_i \bar{\varkappa}_k\, G(\vec{k})\right) d\vec{k},$$

où

$$N(\vec{k}) = \frac{1}{2}(b_\alpha^{(-)}(\varkappa)\, b^{\alpha(-)}(\varkappa) + b_\alpha^{(-)}(\varkappa)\, b^{\alpha(+)}(\varkappa)) \qquad \text{et} \qquad \bar{\varkappa}_k = (-\vec{k}, -k_b).$$

$G(\vec{k})$ est pair en $\vec{k}$. Portons (10) dans (4), il vient

$$\int T_{ik}\, d\vec{x} = \int \frac{2}{(1+\alpha q_0^2)(k_a - k_b)} \Big[(\varkappa_k \varkappa_i - \alpha q_k q^\lambda \varkappa_\lambda \varkappa_i)\, N(\vec{k}) + \left(\varkappa_k \bar{\varkappa}_i - \alpha q_k q^\lambda \varkappa_\lambda \bar{\varkappa}_i - \frac{g_{ik}}{2}(\varkappa_\lambda \bar{\varkappa}^\lambda - \alpha q^\lambda q^\mu \varkappa_\lambda \bar{\varkappa}_\mu)\right) G(\vec{k}) \Big]\, d\vec{k}.$$

Pour le vecteur énergie-impulsion $P_i = \int T_{i0}\, d\vec{x}$, nous obtenons

$$P_i = \int \varkappa_i N(\vec{k})\, d\vec{k}.$$

Le terme avec $G(\vec{k})$ s'annule parce que le facteur de $G(\vec{k})$ est une fonction impaire de $\vec{k}$. Ce résultat a déjà été obtenu par Jauch et Watson [1], en partant d'un autre lagrangien et d'autres relations de commutation, qui compliquent considérablement les calculs.

Il reste encore à indiquer la condition de Lorentz sous sa forme quantique. Elle s'écrit

$$\chi^{(-)}\Phi = 0, \tag{11}$$

où Φ est l'amplitude d'état. L'adjointe équation de (11) est $\Phi^{*}\chi^{(+)} = 0$. Avec (3) et (9) la condition (11) devient

$$e_k^{\alpha} b_{\alpha}^{(-)}(\varkappa)(\varkappa^k - \alpha q^k q^{\lambda} \varkappa_{\lambda})\Phi = 0. \tag{12}$$

Nous choisissons pour les $e_{k\alpha}$ le système suivant :

$$e_{k1} = \left(\frac{\vec{\omega}\times\vec{q}}{|\vec{\omega}\times\vec{q}|}, 0\right); \quad e_{k2} = \left(\frac{\vec{\omega}\times(\vec{\omega}\times\vec{q})}{|\vec{\omega}\times(\vec{\omega}\times\vec{q})|}, 0\right); \quad e_{k3} = \left(\frac{\vec{\omega}}{|\vec{\omega}|}, 0\right); \quad e_{k0} = (0, 0, 0, 1),$$

où $\vec{\omega} = \vec{k} - \alpha\vec{q}q^{\lambda}\varkappa_{\lambda}$. Alors (12) devient

$$(e_{k3} b_3^{(-)}(\varkappa) - e_{k0} b_0^{(-)}(\varkappa))(\varkappa^k - \alpha q^k q^{\lambda} \varkappa_{\lambda})\Phi = 0.$$

Pour $\vec{k} \perp \vec{q}$ resp. $\vec{q} = 0$, on a

$$(b_3^{(-)} + n b_0^{(-)})\Phi = 0.$$

La valeur moyenne $\langle b_3^{(+)} b_3^{(-)} - b_0^{(+)} b_0^{(-)} \rangle$ n'est plus nulle comme dans le cas du champ libre; elle a pour expression

$$\langle b_3^{(+)} b_3^{(-)} - b_0^{(+)} b_0^{(-)} \rangle = \left(1 - \frac{1}{n^2}\right)\langle b_3^{(+)} b_3^{(-)} \rangle.$$

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) *Phys. Rev.*, 74, 1948, p. 950.

PYROMÉTRIE. — *Sur une application pyrométrique de la photoluminescence d'un* Zn S (Cu) *excité par un rayonnement ultraviolet* (366 mμ) *modulé à une fréquence de* 100 Hz. Note (*) de MM. **Pierre Thureau** et **Jean-Pierre Leroux**, transmise par M. Gustave Ribaud.

Excitée en permanence par une lumière de Wood modulée à 100 Hz, une substance phosphorescente émet un rayonnement modulé à 100 Hz dont le taux de modulation dépend en particulier de la température de la substance. Application à la détermination des températures superficielles.

La possibilité de déterminer des températures superficielles à partir des déformations spectrales des émissions de minces revêtements photoluminescents [1] est actuellement limitée à 200° C par suite des faibles énergies disponibles (au-delà de 200° C) dans les deux bandes spectrales étroites utilisées pour les mesures, bien que certaines émissions présentent encore des niveaux notables à 350° C. Le spectre à cette température se réduit à une bande unique qui interdit l'exploitation de la méthode précitée. L'étude de telles émissions nous a conduits à l'examen détaillé d'un aspect du phénomène de phosphorescence :

A une certaine excitation par une lumière de Wood modulée, de taux de modulation constant, correspond une émission phosphorescente,

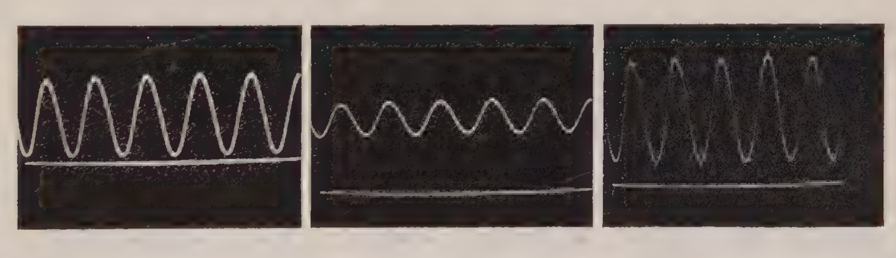
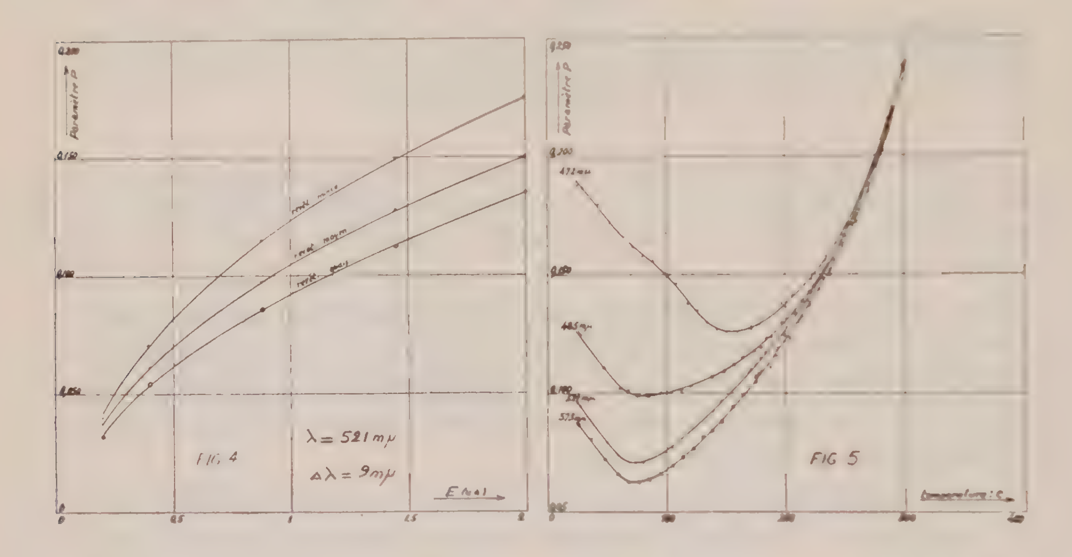


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

modulée à la même fréquence, et dont le taux de modulation est une fonction de la température du luminophore. Les vitesses de montée et de déclin d'une émission phosphorescente dépendent en effet de la température de la substance luminescente [2].

L'excitation est produite par une lampe à vapeur de mercure alimentée par le réseau alternatif 50 Hz, dont l'émission filtrée par un verre de Wood est modulée à la fréquence de 100 Hz ; la composante alternative de cette émission est sensiblement sinusoïdale (*fig.* 1) et le taux de modulation est dans ce cas de 0,81. L'émission de luminescence filtrée par un filtre interférentiel ou un verre coloré est reçue par un photomultiplicateur RCA IP 21. Les résultats qui vont suivre concernent l'émission

d'un ZnS (Cu) fixé sous forme de revêtements minces (environ 5 à 15 mg de substance par centimètre carré) sur un support d'aluminium. Les oscillogrammes des figures 2 et 3 représentent le signal photoélectrique correspondant à l'émission, filtrée par un filtre interférentiel centré à 521 mμ, d'un même revêtement soumis à la même excitation mais porté aux températures respectives de 20 et 350° C (le niveau moyen de l'émission est en fait 10 fois plus faible à 350 qu'à 20° C). La composante alternative est sensiblement sinusoïdale et nous choisirons pour caractériser la forme



de l'émission le paramètre P suivant, défini à partir du signal délivré par le photomultiplicateur.

$$P = \frac{\text{Valeur efficace de la composante alternative}}{\text{Valeur moyenne}} = \frac{V_{eff}}{V_m}.$$

D'une façon générale, pour une substance luminescente donnée, une excitation de taux de modulation constant, et un photomultiplicateur donné, le paramètre P dépend : de la densité superficielle du revêtement, de la valeur moyenne E de l'éclairement d'excitation reçu par ce revêtement, de la bande passante du filtre optique et enfin de la température.

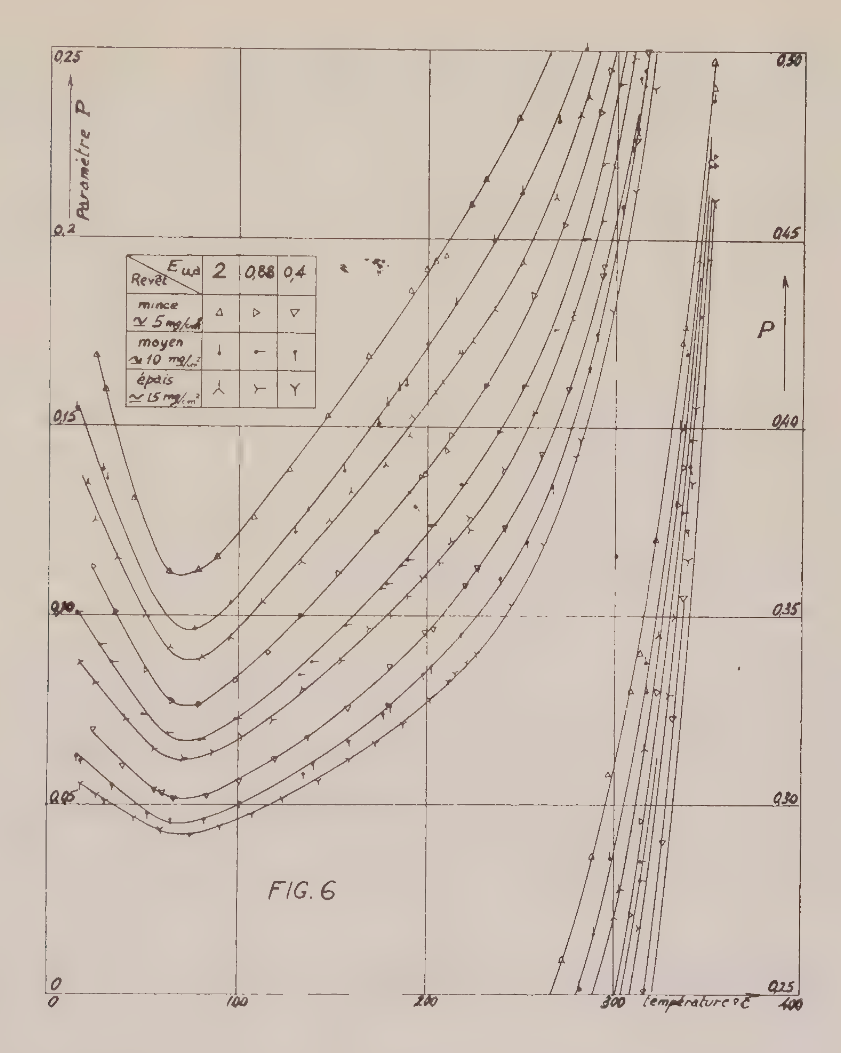
1° Variations de P en fonction de la valeur de l'éclairement moyen d'excitation (E) pour trois revêtements d'épaisseurs différentes ($\sigma \simeq 5$, 10, 15 mg/cm²) maintenus à une température constante de 20° C.

La figure 4 montre la forte influence des deux facteurs E et σ sur la valeur de P ; cette influence s'explique en considérant l'importance relative de l'intensité d'excitation et de la densité des pièges à électrons.

2° Influence de la position de la bande passante du filtre optique sur l'évolution de P en fonction de la température pour un revêtement et une excitation donnés (*fig.* 5). Au-dessous de 270° C le phénomène de phosphorescence est plus marqué pour les grandes longueurs d'onde.

3° Influence de la valeur moyenne de l'éclairement d'excitation E et de l'épaisseur du revêtement sur l'évolution de $P = f(T)$.

Pour exploiter la sensibilité thermique de P il faut choisir un filtre optique [verre coloré vert ($\Delta\lambda = 70$ mμ)] et s'affranchir des deux variables : intensité d'excitation et épaisseur du revêtement. Dans les limites de notre



étude, la famille de courbes $P = f_{E,\sigma}(T)$ se réduit à un réseau (*fig.* 6).

Ainsi pour un revêtement et une excitation donnés, la mesure de P à une température connue, par exemple la température ambiante, permet de situer la courbe correspondante du réseau; et partant de déterminer une température inconnue par une seconde mesure de P effectuée dans les mêmes conditions expérimentales.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) P. Thureau et J.-P. Leroux, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 3424.

(2) Humboldt W. Lewerenz, *Luminescence of solids*, John Wiley, New-York, p. 275-276.

CAPILLARITÉ. — *Mesure de la tension interfaciale entre les deux phases d'un coacervat par la méthode de l'étrier.* Note (*) de Mme **Lina P. Guastalla** et M. **Jean Guastalla**, transmise par M. Jacques Duclaux.

On montre que la méthode de l'étrier est valable pour mesurer les tensions interfaciales, même en dehors des cas de mouillage préférentiel parfait du fil de l'étrier par l'un des deux liquides. On tente par cette méthode la mesure de la tension interfaciale entre les deux phases d'un coacervat gélatine-résorcine.

Lorsqu'on se propose de mesurer la tension interfaciale entre deux liquides, la méthode de la lame mouillable (Wilhelmy) et la méthode de l'ascension capillaire sont en défaut s'il n'y a pas mouillage préférentiel complet de la lame ou de la paroi du tube par l'un des liquides.

La méthode de l'étrier (arrachement) permet d'obtenir *dans tous les cas* au moins une valeur approchée de la tension interfaciale. En cas de doute sur le mouillage préférentiel parfait du fil horizontal de l'étrier par l'un des liquides, le mode opératoire consistera à étendre le ménisque jusqu'à sa rupture, en déplaçant l'étrier vers le haut, puis à recommencer en déplaçant l'étrier vers le bas, tout en mesurant la force à laquelle il est soumis. Des deux forces ainsi mesurées avant la rupture, c'est la plus grande en valeur absolue qu'on introduira dans le calcul de la tension interfaciale.

Ce mode opératoire se justifie de la façon suivante. Supposons, par exemple, le liquide inférieur plus mouillant que le liquide supérieur pour le fil horizontal de l'étrier [l'angle de raccordement θ de l'interface avec la surface du fil, angle mesuré dans le liquide inférieur, est aigu ([1])]. Opérons en déplaçant l'étrier vers le bas : après traversée du plan de l'interface par le fil horizontal, les lignes de raccordement des deux surfaces de séparation avec la surface cylindrique de ce fil se rapprocheront et tendront à se rejoindre (*fig.* 1, A); la rupture du ménisque aura lieu lorsque les lignes de raccordement se rejoindront; les interfaces n'admettent pas alors de plans tangents verticaux (rupture prématurée). Mais, dans ce cas, la rupture prématurée n'est pas à craindre lorsqu'on opère en déplaçant l'étrier vers le haut; les plans tangents au ménisque le long des lignes de raccordement peuvent devenir verticaux avant la rupture (*fig.* 1, B).

C'est l'inverse qui se produit si l'angle de raccordement (mesuré dans le liquide inférieur) est obtus.

Nous avons tenté d'utiliser la méthode d'arrachement pour déterminer la tension interfaciale entre les deux phases d'un coacervat ([2]). Il résulte de quelques travaux antérieurs que ces tensions interfaciales sont probablement très faibles ([3]).

Nous avons étudié le système gélatine-résorcine (préparation obtenue en mélangeant trois volumes d'une solution aqueuse de gélatine iso-

électrique à 10 % avec un volume d'une solution aqueuse de résorcine à 12 %).

Le tensiomètre utilisé était une balance de torsion à lecture directe. Le fil de l'étrier avait pour longueur 2 cm. Une tension interfaciale de 0,1 dyne/cm devait se manifester par un déplacement du spot de 1 cm.

La balance était placée dans une enceinte maintenue à température constante (à ± 1° C). Les mesures étaient effectuées à 70° C, température à laquelle la viscosité de la phase inférieure n'est pas très gênante. L'étrier, suspendu à un fil de cocon très fin, était entièrement immergé dans le liquide; cette disposition évite les perturbations liées à la formation à la surface libre d'une pellicule qui entrave les mouvements de l'étrier.

L'expérience nous montre que les mesures doivent être faites en tirant

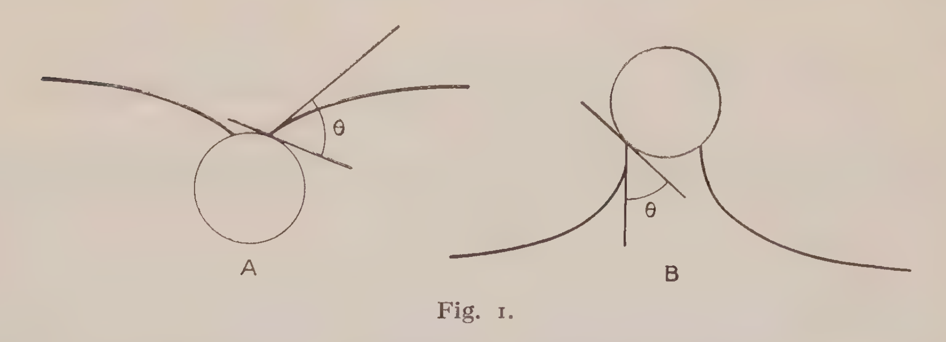


Fig. 1.

l'étrier vers le haut : on obtient ainsi des courbes généralement reproductibles. L'immersion de l'étrier ne conduit jamais à des résultats nets. On opère par petits déplacements du plateau qui porte la préparation (déplacements de 1/4 de millimètre en général).

Le calcul montre qu'il n'y a pas lieu, en première approximation, d'effectuer des corrections concernant la différence de poussée d'Archimède lors du passage de l'étrier d'une phase à l'autre.

Lors d'une mesure, on repère les déplacements de la plate-forme qui porte la préparation. Comme l'étrier se déplace au cours de la mesure par rapport au corps de la balance, une correction est nécessaire pour transformer les hauteurs de la plate-forme en hauteurs de l'étrier au-dessus de l'interface [4].

La figure 2 représente une courbe corrigée (forces en fonction des hauteurs du fil de l'étrier). Elle met en évidence la « courbe de traction » interfaciale.

La force mesurée, au maximum de la courbe de traction, est de 0,4 dyne; elle conduit à une valeur approchée de la tension interfaciale (sans doute une limite supérieure), de l'ordre de 0,1 dyne/cm.

Il y aurait lieu toutefois de déduire de la force maximale un terme hydrostatique, difficile à évaluer faute de précisions sur l'angle de raccordement.

La courbe de traction montre que la hauteur du ménisque avant sa rupture est d'environ 0,05 cm. Supposons qu'au point où la force est mesurée, le ménisque se raccorde à peu près tangentiellement aux génératrices du fil de l'étrier qui se trouvent sur le plan diamétral horizontal. Après déduction du terme hydrostatique, calculé à partir du diamètre du fil de l'étrier (0,02 cm) et de la différence des masses spécifiques des deux liquides (0,043), on est conduit à une valeur corrigée de la tension interfaciale, d'environ 0,08 dyne/cm (limite inférieure).

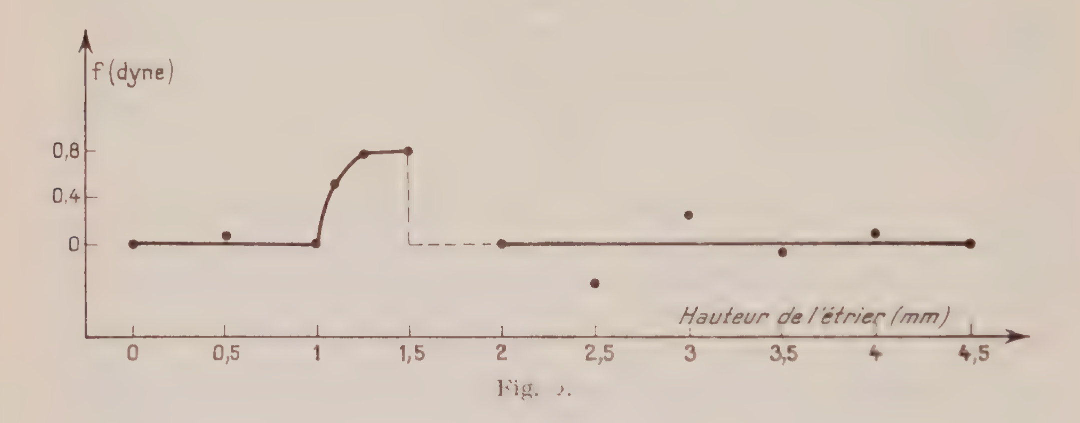


Fig. 2.

Introduisons cette valeur dans la formule classique [5] qui donne la hauteur h à laquelle le ménisque admet un plan tangent vertical $\left(h = \sqrt{2\gamma_i/\rho_{app}g}\right)$; nous obtenons $h = 0{,}06$ cm, en accord d'ordre de grandeur avec la hauteur du ménisque avant sa rupture, lue sur la courbe de traction.

Comme on le voit, l'exactitude de nos déterminations est limitée par le fait que le diamètre du fil horizontal de l'étrier est presque du même ordre de grandeur que la hauteur maximale du ménisque.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) S'il y a mouillage préférentiel parfait par le liquide inférieur, il ne se forme aucun ménisque lors de la descente de l'étrier.

(2) Rappelons que certaines solutions macromoléculaires, additionnées, dans le cas général, d'un autre constituant se séparent en deux phases; cette démixtion a reçu le nom de coacervation.

(3) *Cf.* Mme A. Dobry, *J. Chim. Phys.*, 35, 1938, p. 287.

Ultérieurement L. De Ruiter et H. G. Bungenberg de Jong (*Proc. Koninkl. Nederland. Akad. Wetenschap.*, Amsterdam, 50, 1947, p. 836) ont essayé sans succès de mesurer cette tension pour le système gélatine-gomme arabique par la méthode de l'anneau; ils ont obtenu une tension interfaciale de l'ordre de 10^{-3} dyne/cm par la méthode de l'ascension capillaire (méthode très discutable si le mouillage préférentiel total des parois du tube par l'une des phases n'est pas certain).

Cf. aussi Evreinova, *U. S. P. Sovrem Bol. S. S. S. R.*, n° 2, 1954, p. 177.

(4) Cette correction est analogue à celle qui a été indiquée par l'un de nous au sujet de la mesure de la tension d'adhésion (J. Guastalla, *J. Chim. Phys.*, 51, 1954, p. 584).

(5) *Cf.* R. Matalon, *Thèse.*

SEMI-CONDUCTEURS. — *Propriétés des transistrons au germanium obtenus par double diffusion.* Note (*) de M. **René Deschamps**, présentée par M. Gaston Dupouy.

Les transistrons au germanium, obtenus par double diffusion selon des techniques antérieurement décrites ([2]), présentent certaines particularités qui sont étudiées ci-après. Leur résistance de base, qui dépend beaucoup de la méthode de montage, et leurs tensions de claquage, déterminées par les opérations de diffusion, ont été calculées et mesurées. Nous avons, d'autre part, porté notre attention sur des paramètres non classiques, qui deviennent importants pour le fonctionnement des transistrons en haute fréquence.

1. *Résistance de base.* — La disposition géométrique du système est représentée sur la figure 1.

Soit r_b la résistance de réaction correspondant au courant de recombinaison $(1 - \alpha)\, I_e$ des porteurs minoritaires dans la base. Une partie de r_b, r'_b, crée une tension de réaction $V = r'_b$ entre émetteur et base, par suite du passage du courant capacitif I à travers la jonction collectrice. Nous distinguerons la partie Σ_1 du collecteur située sous l'émetteur, et le reste Σ_2 du collecteur, de même que les fractions I_1 et I_2 du courant I qui correspondent à Σ_1 et Σ_2; nous définirons r'_{b_1} et r'_{b_2} par

$$V = r'_{b_1} I_1 + r'_{b_2} I_2.$$

On pourra déduire r'_b de r'_{b_1} et r'_{b_2} d'après la relation suivante :

$$r'_b = r'_{b_1} \frac{R_1^2 - R_2^2}{R_1^2} + r'_{b_2} \frac{R_2^2}{R_1^2}.$$

Les méthodes de détermination de r'_{b_1}, r'_{b_2} et r_b sont analogues. Pour r'_{b_1} par exemple, on calcule la densité de courant en chaque point de la base, puis le champ électrique, puis, par intégration, la différence entre le potentiel moyen de l'émetteur et celui de la base; cette différence de potentiel étant identifiée à KI_1; K est la résistance cherchée. Nous trouvons ainsi

$$r_b = r'_{b_1} \simeq \frac{\rho_b}{2\pi w}\left(\mathrm{Log}\frac{R_1}{R_3} - \frac{3}{4}\right), \qquad r'_{b_2} \simeq \frac{\rho_b}{2\pi w}\left(\mathrm{Log}\frac{R_2}{R_3} - \frac{1}{2} + \frac{1}{2}\frac{R_3^2}{R_2^2}\right),$$

ρ_b étant la résistivité moyenne de la base.

Pour obtenir des transistrons, nous avons utilisé deux technologies, conduisant respectivement à $R_3 = R_2$ et à $R_3 \ll R_2$. On peut alors, dans chaque cas, calculer le rapport r'_b/r_b.

Nous avons mesuré r_b et r'_b séparément : r_b est l'impédance d'entrée du transistron quand le collecteur est ouvert, à une fréquence assez élevée pour

que $1/j\omega C_c$ soit négligeable ; r_b est l'impédance de sortie quand l'émetteur est ouvert, à une fréquence assez élevée pour que $1/j\omega C_e$ soit négligeable. Ici C_c est la capacité de la jonction collectrice, et C_e est la capacité liée au temps de transit des porteurs minoritaires dans la base. Toutefois si la surface des jonctions est très faible (cas des transistrons destinés aux très hautes fréquences), l'admittance de sortie donne non pas r'_b, mais $r'_b + r'_c$, où r'_c est la résistance entre la jonction et la connexion collectrices. Ce cas mis à part, les résultats de ces mesures sont en bon accord avec la valeur calculée de r'_b/r_b.

2. *Tensions de claquage des jonctions.* — Nous avons calculé les tensions de claquage émetteur-base V_{EB} et collecteur-base V_{CB}, pour les structures

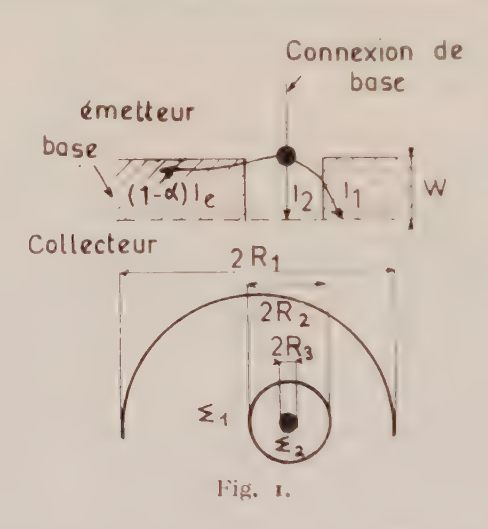


Fig. 1.

obtenues par double diffusion décrites par la Note [1] (dont nous conserverons les notations). Ainsi

$$V_{CB}^2 = \frac{2\,k D_2 t_2}{C_1 x_2} \qquad (k = \text{Cte}).$$

Pour des conditions de diffusion D_2, t_2 constantes, V_{CB} varie avec la résistivité ρ_C du collecteur. De la formule précédente, il suit que

$$V_{CB}^2 \propto \rho_C.$$

Cette dernière relation a été vérifiée expérimentalement (*fig.* 2).

De même, pour deux diffusions successives, V_{EB} vaut

$$V_{EB} = \frac{k'\sqrt{\pi}}{\sqrt{C_{s2} C_{s3}}} \frac{(\lambda_2 \lambda_3)^{\frac{3}{2}}}{\lambda_2^2 - \lambda_3^2} \left(\frac{C_{s2}}{C_{s3}} \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \right)^{\frac{\lambda_2^2 + \lambda_3^2}{2(\lambda_2^2 - \lambda_3^2)}}.$$

Nous avons pu constater expérimentalement une variation rapide de V_{EB} avec $\lambda_2^2 - \lambda_3^2$, conformément à cette formule.

3. *Fonctionnement en haute fréquence.* — Pour le fonctionnement en haute fréquence, la connaissance des paramètres classiques : résistance de

base, capacité collecteur, est insuffisante. Il intervient aussi la capacité propre de la jonction émettrice C'_e et la résistance r'_c. Nous donnons ci-dessous des méthodes de mesure de C'_e et de r'_c.

C'_e est en parallèle sur la capacité C_e; après avoir mesuré $C_e + C'_e$, on détermine la fréquence de coupure pour un courant d'émetteur I_e assez élevé pour que $C_e \gg C'_e$: cette fréquence a alors la valeur théorique : $f_\alpha = 1/2\,\pi r_e\, C_e$; on en déduit C_e, et par suite C'_e.

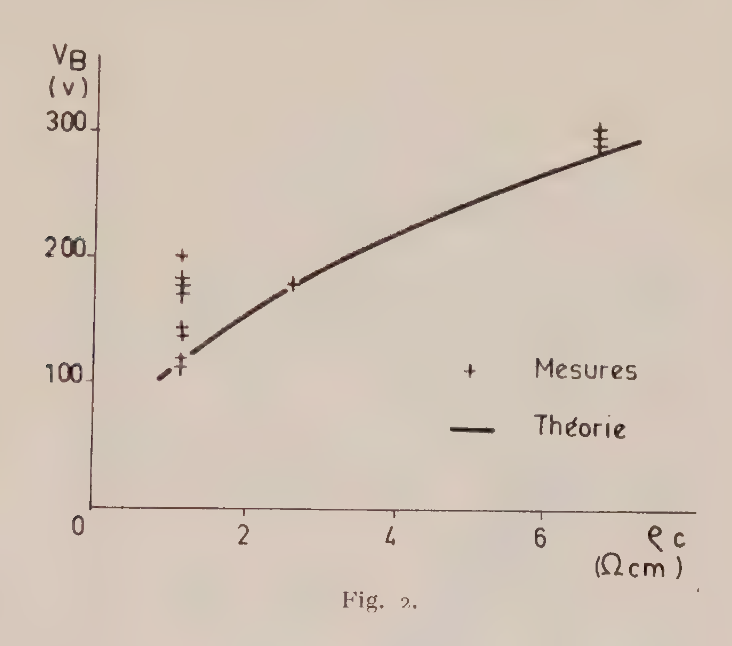


Fig. 2.

D'autre part, $1/(r'_b + r'_c)\, C_c$ a été déduit de la mesure de l'admittance de sortie du transistron à une fréquence suffisamment élevée. Si l'on désigne cette admittance par $(1/R) + j\gamma\omega$, on peut montrer que

$$\frac{1}{(r'_b + r'_c)\, C_c} = R\,\gamma\omega^2.$$

Ces deux dernières mesures permettent une détermination rapide du facteur de mérite. Celui-ci, en effet s'exprime par

$$F = \frac{\omega}{5}\sqrt{f_\alpha R \gamma}.$$

Nous avons trouvé pour F des valeurs atteignant deux fois la valeur de la fréquence de coupure f_α.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) R. DESCHAMPS, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3137 et 3290.

(*Laboratoire de Magnétisme et de Physique du Solide du C. N. R. S., Bellevue, Seine-et-Oise.*)

MAGNÉTISME. — *Magnétorésistance des lames minces de nickel : effet perpendiculaire.* Note (*) de MM. **Guy Goureaux** et **Antoine Colombani**, présentée par M. Gustave Ribaud.

Dans des publications antérieures (1), nous avons indiqué dans quelles conditions de préparation les dépôts minces de nickel, obtenus par évaporation thermique, puis recuits, donnaient lieu à des phénomènes stables et reproductibles. Nous avons déjà publié les résultats concernant la conductibilité (2) et l'effet Hall (3) de ces lames. Ceux-ci concernent la variation relative de leur résistance électrique longitudinale sous l'action d'un champ magnétique. Les mesures sont effectuées sous vide à l'aide d'un montage basé sur une méthode d'opposition de tension et de phase en courant sinusoïdal basse fréquence. Le champ inducteur normal au plan de la lame et au courant de mesure est obtenu par un électroaimant dont les pièces polaires sont sous vide. L'élévation de température est fournie par un petit four placé entre les pôles.

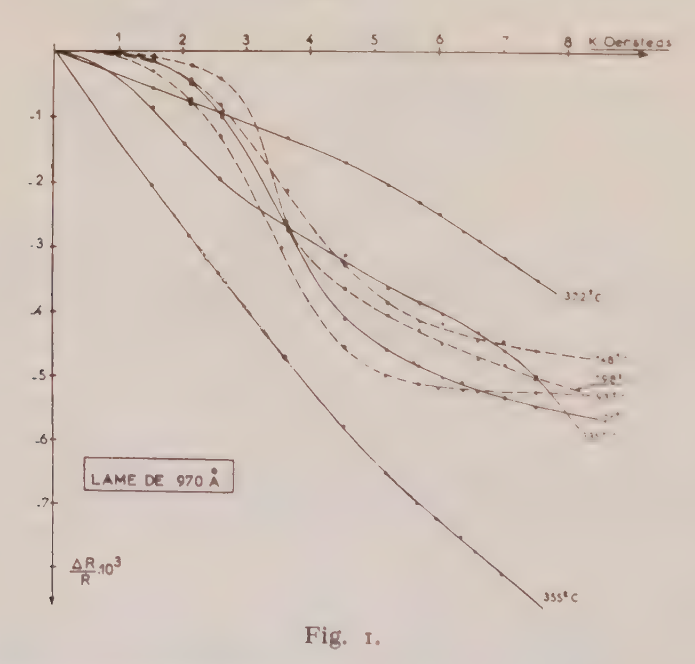


Fig. 1.

La grande sensibilité de la méthode de mesure nous a permis d'étudier ce phénomène sur toute la gamme d'épaisseurs comprises entre une cinquantaine d'angströms et 1000 Å environ. Nous avons vérifié que le rapport $\Delta R/R$ est indépendant de la fréquence du courant de mesure (dans la bande 50-10 000 Hz) et de l'intensité de ce courant tant qu'on ne dépasse pas la densité maximale admissible dans l'échantillon.

En fonction du champ appliqué et pour les températures nettement

inférieures à celle du point de Curie ferromagnétique T_f, l'allure générale du phénomène est la suivante :

1° Pour les lames d'épaisseur supérieure à 300 Å environ, cette allure est identique à celle que montre la figure 1 (tracée pour une épaisseur

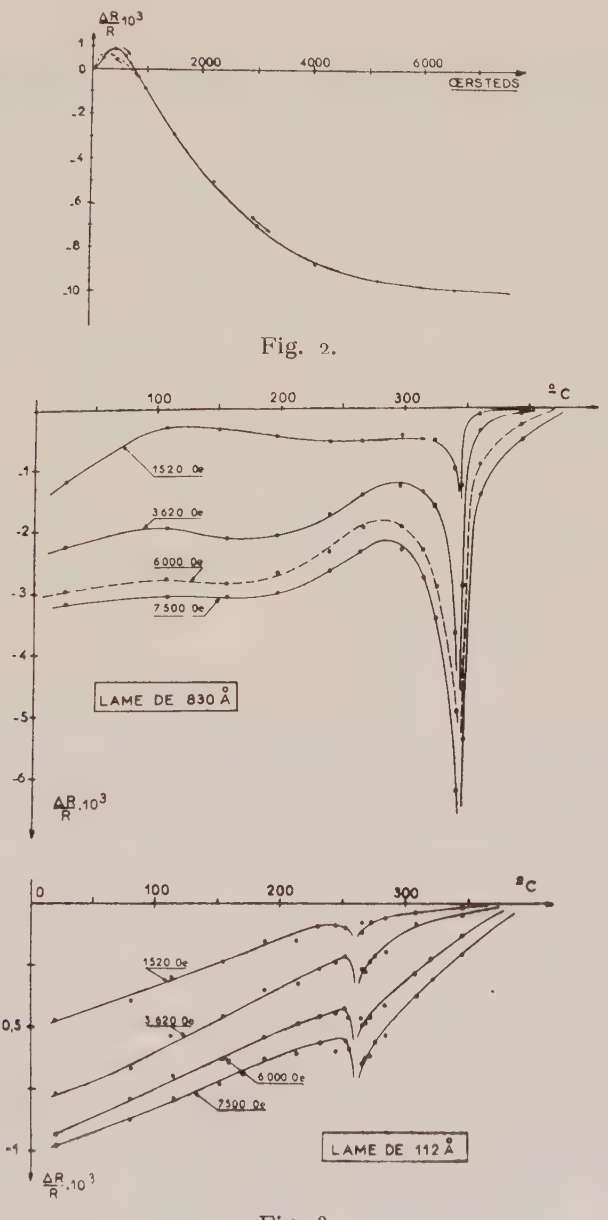


Fig. 2.

Fig. 3.

de 970 Å). En partant du champ nul, la magnétorésistance (constamment négative dans ce cas) décroît d'abord très lentement et ne devient mesurable qu'au-dessus de 1000 Oe. La décroissance s'accélère ensuite, la courbure de la courbe change de signe, puis tend très lentement vers une saturation. Cela quelque soient les dimensions de l'échantillon.

2° Pour les dépôts de plus faible épaisseur (< 300 Å), le phénomène est beaucoup plus complexe. Dans les champs assez élevés on retrouve l'allure précédemment signalée alors que le phénomène est totalement différent dans les champs relativement faibles (*fig.* 2). La magnétorésistance d'abord positive passe par un maximum, change de signe puis suit la loi générale. Quand le champ est ramené progressivement vers zéro, une grande partie de la courbe décrite à « l'aller » est parcourue au « retour », seule la région correspondant à $\Delta R/R > 0$ est irréversible.

Quand la température approche celle du point de Curie T_f, les isothermes de magnétorésistance se déforment : les concavités s'atténuent tandis que le rapport $\Delta R/R$ augmente très rapidement en valeur absolue. Une fois dépassée la température T_f, $\Delta R/R$ diminue brutalement en valeur absolue et n'est plus mesurable au-dessus de 400° C.

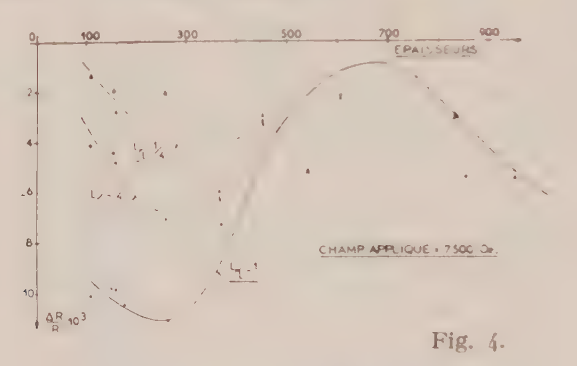


Fig. 4.

La figure 3 montre ce comportement pour une lame de chacune des deux catégories précédemment définies. Sur l'un et l'autre réseau, le passage au point de Curie se traduit par une « anomalie » très marquée.

L'étude de la « magnétorésistance perpendiculaire » en fonction de l'épaisseur des lames nous a conduit à considérer un autre phénomène intimement lié : l'influence des dimensions relatives de la lame. Nous avons mis en évidence pour les épaisseurs inférieures à 300 Å un minimum de la magnétorésistance pour un rapport $L/l = 1$ des dimensions du dépôt. La magnétorésistance augmente rapidement pour les rapports inférieurs.

Au-dessus de 500 Å les dépôts ont une magnétorésistance perpendiculaire qui n'est pas affectée par le rapport des dimensions.

Ceci étant, on peut donner l'allure générale des courbes $\Delta R/R$ en fonction de l'épaisseur des dépôts pour des rapports L/l bien définis : sur la figure 4, nous avons représenté trois courbes correspondant aux rapports $L/l = 4$, 1, 1/4. Chacune d'elles passe par un minimum bien marqué aux environs de 300 Å tandis que son maximum se situe entre 600 et 700 Å.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) G. Goureaux et A. Colombani, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 740.

(2) A. Colombani et G. Goureaux, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 1979; *J. Phys. Rad.*, 20, 1959, p. 303-309.

(3) G. Goureaux et A. Colombani, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 189; 248, 1959, p. 543; 249, 1959, p. 381; *Structure and Properties of thin films*, John Wiley, 1959, p. 393-401.

MAGNÉTISME. — *Sur les variations d'aimantation dues à des échauffements ou à des refroidissements, dans le domaine de Rayleigh.* Note (*) de M. **Osamu Yamada**, transmise par M. Louis Néel.

Sur la courbe de première aimantation et dans le domaine de Rayleigh, un échauffement ou un refroidissement donne toujours un accroissement irréversible d'aimantation dont la grandeur, toutes corrections faites, ne dépend que de l'amplitude de la variation thermique et non pas de son signe.

Lorsqu'un échantillon ferromagnétique initialement désaimanté à la température T_a, au moyen d'un champ alternatif décroissant lentement jusqu'à zéro est soumis à un champ magnétique maintenu désormais constant puis subit une variation de température de T_a à T_b, on observe une évolution de l'aimantation, qu'il s'agisse d'un échauffement ou d'un refroidissement. On a représenté sur la figure 1 les valeurs des aimantations d'un acier au carbone ($H_c = 16$ Oe), soumis à un champ constant dans le domaine de Rayleigh, en fonction du nombre de cycles thermiques décrits entre 16 et 60° C en partant soit de 16 °C, soit de 60 °C. On observe nettement dans chaque cas une augmentation d'aimantation provenant du premier changement de la température de l'échantillon.

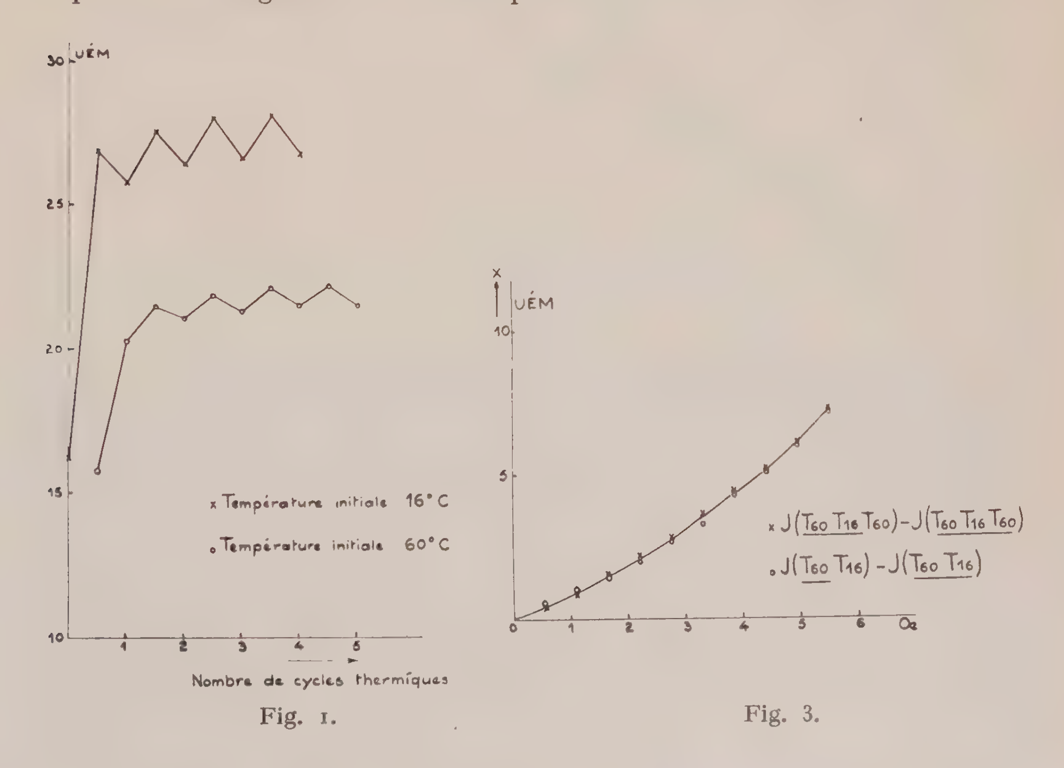


Fig. 1.

Fig. 3.

La courbe $J_{3,3\,\text{Oe}}\,(T_{16},\ T_{60})$ portée sur la figure 2 représente l'aimantation en fonction du champ H, à 60 °C, pour H supérieur à $H_0 = 3{,}3$ Oe, après le traitement initial suivant : désaimantation à 16° C, application

de H_0 à 16° C, élévation de la température de 16 à 60 °C dans ce même champ H_0. Cette courbe se raccorde rapidement avec la courbe $J(\underline{T_{16}, T_{60}})$ représentant la variation de l'aimantation avec le champ, à 60 °C, après désaimantation à 16 °C et réchauffement dans un champ nul jusqu'à 60 °C. Il en est de même si l'on prend $H_0 = 1{,}1$ Oe.

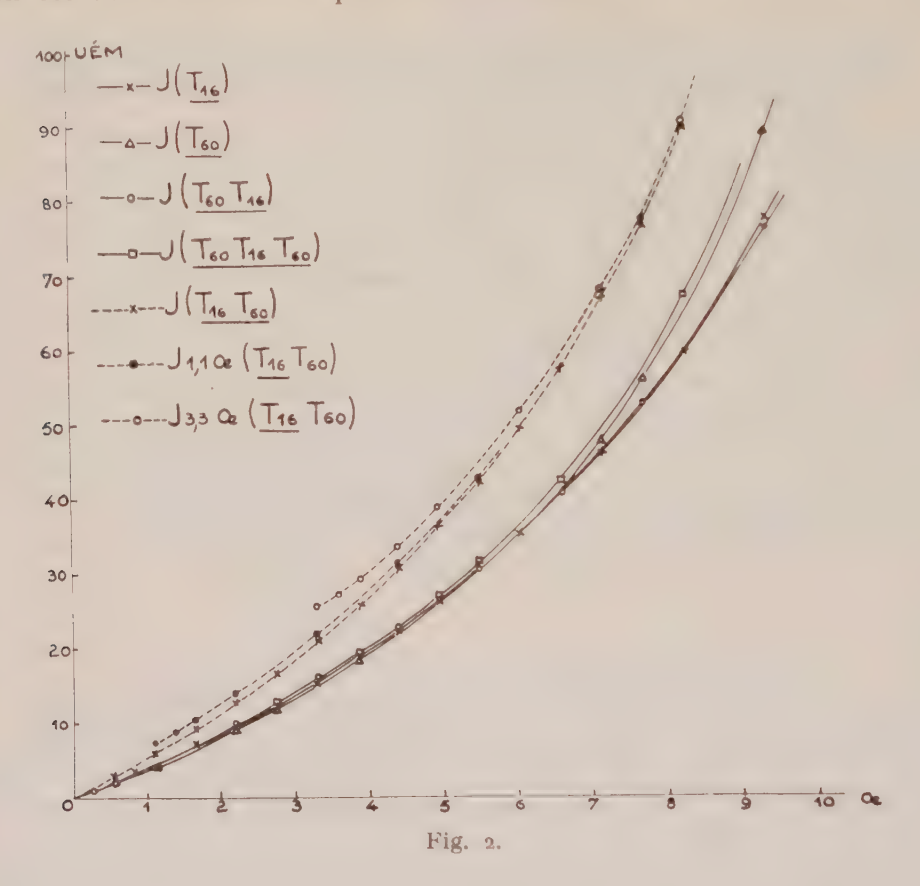


Fig. 2.

D'une manière générale, convenons de représenter par $J(\underline{T_a, T_b, \ldots, T_i}, T_j)$ l'aimantation prise à T_j d'un échantillon soumis successivement aux températures $T_a, \ldots, T_j$, désaimanté à T_a, le champ magnétique ayant été appliqué au moment où l'échantillon possède la dernière température soulignée T_i.

Dans ces conditions, on peut admettre que la variation d'aimantation due à un échauffement de 16 à 60 °C comprend deux parties dont la première provient de la différence entre les courbes $J(\underline{T_{16}, T_{60}})$ et $J(\underline{T_{16}})$ et la seconde que nous désignerons par $X(T_{16}, T_{60})$ représente l'effet pur de l'échauffement, de sorte qu'on peut écrire

(1) $$X(T_{16}, T_{60}) = J(T_{16}, \underline{T_{60}}) - J(\underline{T_{16}, T_{60}}).$$

De même l'effet pur du refroidissement peut être représenté par

(2) $$X(T_{60}, T_{16}) = J(\underline{T_{60}}, T_{16}) - J(\underline{T_{60}, T_{16}}).$$

Cependant la comparaison de $X(T_{16}, T_{60})$ et de $X(T_{60}, T_{16})$ est rendue difficile par le fait qu'à champ égal les aimantations de comparaison sont très différentes : en effet, tandis que les courbes $J(\underline{T_{16}})$, $J(\underline{T_{60}})$, $J(\underline{T_{60}, T_{16}})$ sont voisines les unes des autres, la courbe $J(\underline{T_{16}, T_{60}})$ en est nettement séparée.

Comme le montre la figure 2, on remarque cependant que la courbe $J(\underline{T_{60}, T_{16}, T_{60}})$ est très voisine du groupe des trois premières courbes. tout au moins au-dessous de 5,5 Oe. Il semble alors préférable de définir l'effet pur de l'échauffement par la différence

$$X(T_{16}, T_{60}) = J(\underline{T_{60}, T_{16}}, T_{60}) - J(\underline{T_{60}, T_{16}, T_{60}}). \qquad (3)$$

Nous avons alors comparé sur la figure 3 les valeurs de $X(T_{60}, T_{16})$ et de $X(T_{16}, T_{60})$, défini par la relation (3). On constate alors que les effets purs de l'échauffement ou du refroidissement sont égaux, tout au moins jusqu'à 5,5 Oe :

$$X(T_{16}, T_{60}) = X(T_{60}, T_{16}).$$

(*) Séance du 20 juin 1960.

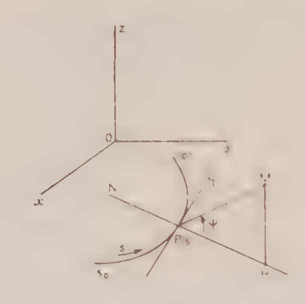
(Laboratoire d'Électrostatique et de Physique du Métal Institut Fourier, place du Doyen-Gosse, Grenoble.)

ÉLECTROMAGNÉTISME THÉORIQUE. — *Généralisation de la condition aux arêtes.* Note (*) de M. **Paul Poincelot**, présentée par M. Louis de Broglie.

La condition aux arêtes [(1) à (4)], établie pour un écran plan, infiniment mince et infiniment conducteur, détermine l'ordre d'infinitude des composantes du champ électromagnétique et de la densité superficielle de courant au voisinage de l'arête; on sait, en outre, que son observation assure de l'unicité de la solution (4). J'ai l'intention de généraliser cette condition en considérant un solide parfaitement conducteur et présentant une arête, courbe plane, continue, et telle qu'en chacun de ses points la section normale soit le rectiligne d'un dièdre dont les faces font un angle constant avec le plan de l'arête.

Soient (*fig.* 1) :

(1) $$x_0 = u(s), \qquad y_0 = v(s), \qquad z_0 = 0,$$



les équations paramétriques des coordonnées d'un point P de l'arête (C), en fonction de l'arc s. Soient M un point du plan normal, $\overline{\mathrm{PM}} = \rho$, ψ l'angle du rayon vecteur $\overline{\mathrm{PM}}$ avec le plan $x\mathrm{O}y$ de l'arête. Si je considère un cylindre circulaire de rayon ρ, ayant pour axe la tangente à l'arête, F étant une composante du champ électromagnétique, il lui correspond une puissance dont l'expression infinitésimale est, à un facteur près, $\mathrm{F}^2 \rho\, d\rho$. Si F varie comme ρ^t, l'intégrale $\int_{\rho_0}^{\rho_1} \rho^{2t+1}\, d\rho$ doit demeurer bornée quel que soit ρ_0, ce qui impose la condition $t \geqq -1$.

Les coordonnées du point M (x, y, z) sont

(2) $$x = u(s) + \rho v'(s) \cos\psi, \qquad y = v(s) - \rho u'(s) \cos\psi, \qquad z = \rho \sin\psi.$$

Je choisis un nouveau système de coordonnées curvilignes orthogonales :

(3) $$x^1 = \rho, \qquad x^2 = s, \qquad x^3 = \psi;$$

il vient, dans ce système,

(4) $$ds^2 = (e_i\, dx^i)^2,$$

avec

(5) $$e_1 = 1, \qquad e_2 = 1 + \frac{\rho}{R}\cos\psi, \qquad e_3 = \rho,$$

R étant le rayon de courbure de l'arête au point P :

(6) $$R = \frac{1}{u'v'' - v'u''}.$$

J'écris la condition

(7) $$\operatorname{div}\vec{E} = 0;$$

d'où ([5])

(8) $$\frac{1}{e_1 e_2 e_3}\left(\frac{\partial}{\partial x^1} e_2 e_3 E_1 + \frac{\partial}{\partial x^2} e_3 e_1 E_2 + \frac{\partial}{\partial x^3} e_1 e_2 E_3\right) = 0,$$

ou

(9) $$\frac{\partial}{\partial \rho}\left[\rho\left(1 + \frac{\rho}{R}\cos\psi\right)E_\rho\right] + \frac{\partial}{\partial s}(\rho E_s) + \frac{\partial}{\partial \psi}\left[\left(1 + \frac{\rho}{R}\cos\psi\right)E_\psi\right] = 0,$$

soit, pour les termes principaux, ρ tendant vers zéro :

(10) $$\frac{\partial}{\partial \rho}(\rho E_\rho) + \frac{\partial E_\psi}{\partial \psi} = 0.$$

J'écris maintenant l'équation

(11) $$\overrightarrow{\operatorname{rot}\operatorname{rot}\vec{E}} - k^2\vec{E} = 0,$$

en rappelant la relation ([5]) :

(12) $$\operatorname{rot}_i\vec{E} = \frac{1}{e_j e_k}\left(\frac{\partial}{\partial x^j} e_k E_k - \frac{\partial}{\partial x^k} e_j E_j\right),$$

i, j, k, formant une permutation circulaire.

Il vient, pour $i = 1$:

(13) $$\frac{\partial}{\partial s}\left\{\frac{\rho}{1 + \frac{\rho}{R}\cos\psi}\left[\frac{\partial}{\partial \rho}\left(1 + \frac{\rho}{R}\cos\psi\right)E_s - \frac{\partial E_\rho}{\partial s}\right]\right\}$$
$$- \frac{\partial}{\partial \psi}\left\{\frac{1 + \frac{\rho}{R}\cos\psi}{\rho}\left[\frac{\partial E_\rho}{\partial \psi} - \frac{\partial}{\partial \rho}\rho E_\psi\right]\right\} - k^2\rho\left(1 + \frac{\rho}{R}\cos\psi\right)E_\rho = 0,$$

soit, en ne conservant que les termes principaux :

(14) $$\frac{\partial^2 E_\rho}{\partial \psi^2} - \frac{\partial}{\partial \rho}\left(\rho\frac{\partial E_\psi}{\partial \psi}\right) = 0,$$

et, en tenant compte de (10) :

(15) $$\frac{\partial^2 E_\rho}{\partial \psi^2} + \frac{\partial}{\partial \rho}\left[\rho\frac{\partial}{\partial \rho}(\rho E_\rho)\right] = 0.$$

Posons

(16) $$E_\rho = \alpha(s, \psi)\,\rho^t;$$

il vient

(17) $$\frac{\partial^2 \alpha}{\partial \psi^2} + (t+1)^2 \alpha = 0,$$

dont la solution générale est

(18) $$\alpha = A(s) \sin[(t+1)\psi + \psi_0].$$

Je mesure maintenant l'angle ψ à partir de l'une des faces du rectiligne du dièdre. Comme nous devons avoir $\alpha = 0$ pour $\psi = 0$, nous choisirons

(19) $$\alpha = A \sin(t+1)\psi.$$

En outre, $\alpha = 0$ pour $\psi = 2\pi - \theta$, θ étant l'angle rectiligne du dièdre, d'où

(20) $$(t+1)(2\pi - \theta) = K\pi \qquad (-1 \leq t \leq 0),$$

d'où $K = 1$, et

(21) $$t = -\frac{1}{2}\,\frac{1 - \dfrac{\theta}{\pi}}{1 - \dfrac{\theta}{2\pi}},$$

condition qui généralise celle de M. Meixner ([3]), établie pour un écran plan ($\theta = 0$, $t = -1/2$).

D'après (10), nous concluons que E_ψ est de la forme

(22) $$E_\psi = \beta(s, \psi)\,\rho^t.$$

Portons ces relations dans (13) et ne conservons que les termes principaux; il vient

(23) $$\frac{\partial}{\partial s}\left(\rho \frac{\partial E_s}{\partial \rho}\right) + \rho \frac{\partial^2 E_s}{\partial s^2} = 0.$$

Nous voyons que E_s est en ρ^{t+1} ($t + 1 > 0$), donc $E_s = 0$ pour $\rho = 0$.

Nous obtenons les mêmes conclusions pour $\mathcal{H}_\rho$, $\mathcal{H}_\psi$, $\mathcal{H}_s$. Quant à la densité superficielle de courant $\vec{i}$, l'application du théorème d'Ampère nous montre que j_s est en ρ^t et j_ρ en ρ^{t+1}; j_s peut devenir infinie, tandis que j_ρ demeure bornée.

(*) Séance du 20 juin 1960.

([1]) Lord Rayleigh, *Scientific papers*, 4, 1903, p. 288.

([2]) C. J. Bouwkamp, *Physica*, 12, 1946, p. 467.

([3]) J. Meixner, *Ann. Physik*, 6, 1949, p. 1-9.

([4]) P. Poincelot, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 3324; 246, 1958, p. 3418; 247, 1958, p. 2312; 248, 1959, p. 2182; 249, 1959, p. 950; *Ann. Télécom.*, 15, nos 3-4, 1960, p. 77-83.

([5]) L. de Broglie, *Problèmes de propagations guidées d'ondes électromagnétiques*, Gauthier-Villars, 2e éd., 1951, p. 8, § 3.

ÉLECTRONIQUE. — *Stabilisateur de courant pour électroaimant de laboratoire.*
Note (*) de M. **Pierre Pilod**, présentée par M. Gaston Dupouy.

Description d'un stabilisateur de courant continu pour une puissance de plus de 4 kW. L'amplificateur comprend quatre étages de transistors et un étage de puissance constitué par une dynamo. Un artifice permet de réduire l'influence de la température. La stabilité est de 2/10 000e pour une durée d'utilisation d'une demi-heure.

Le stabilisateur de courant que nous décrivons est destiné à l'alimentation des bobines d'un électroaimant de laboratoire, utilisé pour des études de polarisation rotatoire magnétique. La nature des solutions étudiées, la longueur de la cuve et la différence de potentiel magnétique entre ses faces, les caractéristiques de l'analyseur à pénombre, sont telles que les rotations peuvent être mesurées avec une précision de 1/1300e environ en valeur relative; une stabilité de 5/10 000e du courant dans les enroulements peut donc être considérée comme suffisante.

L'intensité maximale dans les bobines est de 18 A; pour cette valeur du courant, la différence de potentiel aux extrémités de l'enroulement varie entre 210 et 240 V selon la température de celui-ci.

Il est nécessaire de prévoir l'inversion du sens du courant dans les bobines et le réglage continu de l'intensité à partir d'une valeur nulle. Ces manœuvres sont indispensables, en particulier, pour la désaimantation de l'appareil.

Le générateur de courant continu employé est une dynamo à excitation indépendante entraînée par un moteur synchrone. L'alimentation de l'inducteur se fait à partir du réseau 110 V continu du laboratoire par l'intermédiaire du potentiomètre P et d'un inverseur (*fig.* 1). Un grand avantage de ce circuit d'alimentation est de supprimer tout contact mobile dans le circuit des bobines de l'électroaimant.

La stabilisation du courant est obtenue en asservissant l'intensité dans l'inducteur aux variations du courant dans l'enroulement de l'électroaimant. Le stabilisateur peut être représenté par le schéma général d'un système à contre-réaction, dans lequel l'amplificateur comprend quatre étages électroniques à transistors et un étage final de puissance constitué par la dynamo.

L'organe détecteur d'écart comprend aussi le premier étage d'amplification. Un signal V est recueilli aux extrémités d'une résistance ρ de 0,5 Ω, en constantan, placée en série avec les bobines de l'électroaimant. Un potentiomètre de 1000 Ω permet de prélever une fraction V_s du signal V qu'on oppose à la tension de référence V_e.

L'amplificateur est attaqué par l'écart $V_s - V_e$.

Dans le cas d'un transistor, la tension de référence V_e doit être considérée comme la somme de deux termes, l'un V_r correspondant à la source

de référence, l'autre e étant la tension de l'espace émetteur-base du transistor. Le terme e varie considérablement avec la température. Pour éviter de faire appel à un thermostat, nous avons utilisé un artifice déjà employé par E. Cassignol, P. Chausson, G. Giralt et J. C. Polisset [1]. Ces auteurs ont remarqué qu'il était possible de trouver un transistor et une diode Zener tels que le gradient de tension en fonction de la température de l'espace émetteur-base du transistor soit opposé à celui de la diode.

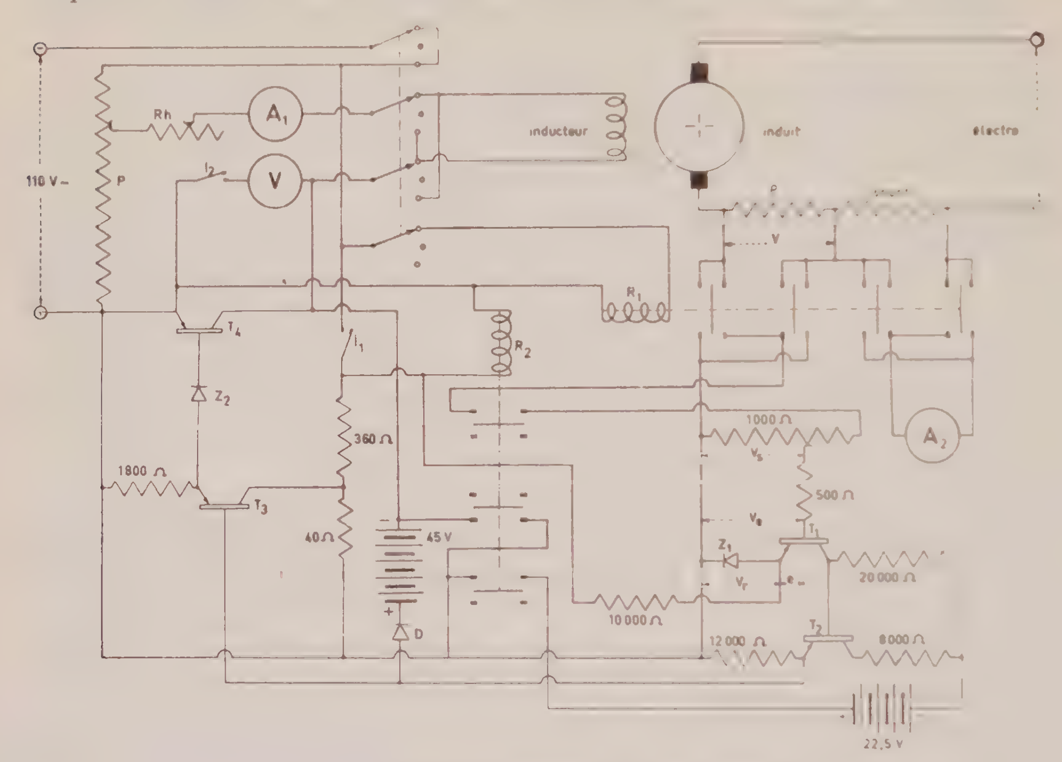


Fig. 1. — Schéma électrique du stabilisateur.

On peut donc obtenir une compensation correcte des effets de température en utilisant une diode Zener comme source de référence proprement dite; nous avons sélectionné à la suite d'une série de mesures, une diode Zener Z_1 et un transistor T_1 qui assurent une bonne compensation (le gradient de température de la somme $V_r + e$ est égal à 0,25 mV/° C). Pour réduire les variations de température, les deux éléments sont placés très près l'un de l'autre dans une enceinte métallique épaisse isolée thermiquement du milieu ambiant; cette enceinte contient aussi le transistor T_2 constituant le deuxième étage d'amplification.

Les deux autres étages sont constitués par les transistors T_3 et T_4, ce dernier pouvant dissiper une puissance maximale de 80 W. La polarisation de la base du transistor T_4 est obtenue à l'aide d'une diode Zener Z_2. L'étude du gain de la chaîne ouverte en fonction de la fréquence fait apparaître une fréquence de coupure de 5 Hz. Pour cette fréquence la

variation du gain en fonction de la fréquence est de — 17 dB par décade, ce qui garantit la stabilité de la chaîne fermée.

Pour terminer, mentionnons les relais : R_1, destiné à l'inversion du signal d'attaque de l'amplificateur lors de l'inversion du courant dans l'inducteur, et R_2, permettant la mise hors circuit du régulateur.

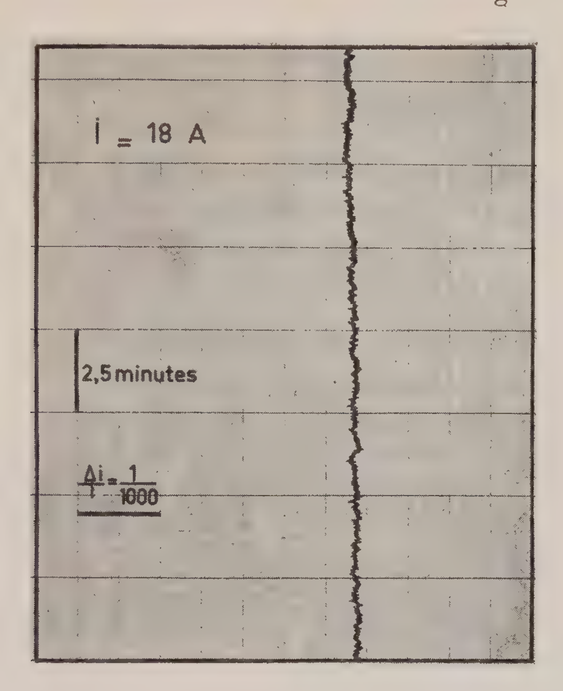


Fig. 2. — Enregistrement des variations du courant en fonction du temps.

La figure 2 donne un enregistrement du courant dans les bobines de l'électroaimant en fonction du temps. Les variations de l'intensité sont de l'ordre de 2/10 000e en valeur relative, pour une durée d'utilisation d'une demi-heure. Nous avons constaté en faisant les enregistrements, une légère oscillation, d'une fréquence voisine de 0,5 Hz. Nous avons vérifié que ce phénomène était dû à un défaut d'équilibrage dynamique du groupe convertisseur. L'amplitude des oscillations, inférieure à 1/10 000e de l'intensité, ne présente aucun inconvénient, compte tenu des performances demandées à l'appareil.

(*) Séance du 20 juin 1960.

([1]) *Comptes rendus*, 249, n° 5, 1959, p. 659.

(*Laboratoire d'Optique électronique du C. N. R. S., Toulouse.*)

ÉLECTRONIQUE. — *Calcul de la réponse en fréquence d'un amplificateur à transistors non linéaire.* Note (*) de M. **Igor Gumowski**, transmise par M. Charles Camichel.

Appliquant la méthode de Poincaré à l'équation différentielle fonctionnelle décrivant le comportement non linéaire d'un amplificateur opérationnel à transistors, l'auteur met en évidence une solution périodique sous forme d'une série en puissances entières d'un paramètre.

Dans une Note précédente ([1]) nous avons montré qu'un amplificateur à transistors du type opérationnel peut être décrit, lorsqu'il fonctionne près de sa limite de stabilité, par l'équation différentielle fonctionnelle.

$$(1)\qquad \begin{cases} T_0 u'(t) + u(t) + kHu[t - f(u)] = T_0 V'_e(t) + V_e(t), \\ f(u) = \tau_0 + \tau_1 u(t) + \tau_2 u^2(t) + \ldots, \end{cases}$$

où T_0, kH, τ_0, τ_1, ... sont des constantes réelles.

Cherchons une solution périodique de (1) lorsque $V_e(t) = E \sin \omega t$ et $\tau_i = 0$, $i > 2$. Posant

$$\alpha T_0 = -1, \qquad \beta T_0 = -kH, \qquad g(t) = T_0^{-1}(\sin \omega t + \omega T_0 \cos \omega t),$$

l'équation (1) se réduit à

$$(2)\qquad u'(t) = \alpha u(t) + \beta u[t - \tau_0 - \tau_1 u(t) - \tau_2 u^2(t)] + E g(t).$$

Suivant la méthode de Poincaré cherchons la solution périodique de (2) de même période que $g(t)$ sous la forme

$$(3)\qquad u(t) = u_0(t) + E u_1(t) + E^2 u_2(t) + \ldots,$$

où les $u_i(t)$ sont également périodiques avec la même période.

Substituant (3) dans (2) et égalant les termes indépendants de E on obtient

$$(4)\qquad u'_0(t) = \alpha u_0(t) + \beta u_0[t - \tau_0 - \tau_1 u_0(t) - \tau_2 u_0^2(t)].$$

Considérant que (2) décrit l'amplificateur dans son état « stable », c'est-à-dire lorsqu'il fonctionne comme amplificateur, et non pas comme oscillateur synchronisé, (4) ne peut admettre d'autre solution périodique que la solution triviale $u_0(t) = 0$. Puisque près de la limite de stabilité $kH \gg 1$, $|\beta| \gg |\alpha|$ on peut montrer que ceci est le cas lorsque $1 + \beta\tau_0 > 0$. Posons

$$(5)\qquad \bar{f}(E) = \tau_1 u(t) + \tau_2 u^2(t) = (\tau_1 u_1) E + (\tau_1 u_2 + \tau_2 u_1^2) E^2 + \ldots.$$

Puisque $\bar{f}(0) = 0$, on a

$$(6)\qquad \begin{cases} u_k[t - \tau_0 - \bar{f}(E)]_{E=0} = u_k(t - \tau_0) \qquad (k = 1, 2, \ldots), \\ \left(\dfrac{\partial u_k}{\partial E}\right)_{E=0} = -\tau_1 u'_k(t - \tau_0)\, u_1(t), \\ \left(\dfrac{\partial^2 u_k}{\partial E^2}\right)_{E=0} = \tau_1^2 u''_k(t - \tau_0)\, u_1^2(t) - 2u'_k(t - \tau_0)[\tau_1 u_k(t) + \tau_2 u_1^2(t)], \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{cases}$$

Substituant (3) dans (2) on obtient

$$(7)\qquad \begin{aligned} &E u'_1(t) + E^2 u'_2(t) + \ldots \\ &\quad = E g(t) + E\alpha u_1(t) + E^2 \alpha u_2(t) + \ldots + E\beta u_1[t - \tau_0 - \bar{f}(E)] \\ &\qquad + E^2 \beta u_2[t - \tau_0 - f(E)] + \ldots . \end{aligned}$$

Écrivant

$$(8)\qquad u_k[t - \tau_0 - \bar{f}(E)] = u_k(t - \tau_0) + E\left(\frac{\partial u_k}{\partial E}\right)_{E=0} + \frac{1}{2} E^2 \left(\frac{\partial^2 u_k}{\partial E^2}\right)_{E=0} + \ldots$$

et tenant compte de (6), identifions les coefficients de E^k dans (7).

Nous obtenons alors un système d'équations linéaires

$$(9)\qquad \left\{ \begin{aligned} &u'_1(t) - \alpha u_1(t) - \beta u_1(t - \tau_0) = g(t), \\ &u'_2(t) - \alpha u_2(t) - \beta u_2(t - \tau_0) = -\beta\tau_1 u'_1(t - \tau_0)\, u_1(t), \\ &u'_3(t) - \alpha u_3(t) - \beta u_3(t - \tau_0) \\ &\quad = \frac{1}{2}\beta\tau_1^2 u''_1(t - \tau_0)\, u_1^2(t) - \beta\tau_1 u'_2(t - \tau_0)\, u_1(t) - \beta u'_1(t - \tau_0)[\tau_1 u_2(t) + \tau_2 u_1^2(t)], \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned} \right.$$

qui peut s'intégrer de proche en proche sous forme finie. En effet, posant

$$P^2(x) = (\alpha + \beta\cos\tau_0 x)^2 + (x + \beta\sin\tau_0 x)^2, \qquad Q^2(x) = 1 + (T_0 x)^2,$$

on obtient

$$(10)\qquad \left\{ \begin{aligned} &u_1(t) = \frac{1}{T_0}\,\frac{Q(\omega)}{P(\omega)}\sin(\omega t + \varphi - \theta_1), \\ &u_2(t) = -\frac{\beta\tau_1\omega Q^2(\omega)}{2T_0(\alpha+\beta)P^2(\omega)}\sin\omega\tau_0 - \frac{\beta\tau_1\omega Q^2(\omega)}{2T_0 P^2(\omega)}\,\frac{\sin[2\omega(t-\tau_0) + \varphi - \theta_1 - \theta_2]}{P(2\omega)}, \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots, \end{aligned} \right.$$

où

$$\operatorname{tg}\varphi = \omega T_0 \qquad \text{et} \qquad \operatorname{tg}\theta_k = \frac{k\omega + \beta\sin k\omega\tau_0}{\alpha + \beta\cos k\omega\tau_0} \qquad (k = 1, 2, \ldots).$$

Appelons fréquence de résonance la fréquence $f_0 = \omega_0/2\pi$ pour laquelle $P(\omega)$ est minimal. Si la seule solution périodique de (4) est $u_0(t) = 0$, $P(\omega_0) \neq 0$.

Examinant (9) et (10) on peut remarquer que chaque $u_k(t)$ contient un terme de la forme

$$(11)\qquad a_k F(\omega)\frac{\sin[k\omega(t - \tau_0)] + \psi_k}{P(k\omega)}, \qquad F(k^{-1}\omega_0) \neq \min,$$

où a_k et ψ_k sont certaines constantes. Puisque $P(\omega)$ est minimol pour $\omega = \omega_0$, (11) est maximal pour $\omega = \omega_0/k$. Par conséquent, la réponse sinusoïdale de l'amplificateur a une distorsion harmonique appréciable pour tous les sous-multiples entiers de ω_0. Ce comportement fut vérifié expérimentalement : bien que l'importance de cette distorsion décroisse lorsque k augmente, sans qu'il y ait écrétage du signal elle fut décelée jusqu'au $k = 7$.

Si $P(\omega_0)$ est suffisamment petit la série (3) peut s'avérer divergente au voisinage de ω_0 : en général elle n'est donc utile que lorsque ω n'est pas trop près de la résonance.

On peut montrer que ceci est dû au fait que dans le voisinage de la résonance déjà l'approximation d'ordre zéro de $u(t)$ dépend des coefficients τ_1 et τ_2 des termes non linéaires.

Remarquons pour terminer que (2) peut s'intégrer par la méthode précédente lorsque $g(t)$ est une fonction périodique arbitraire développable en série de Fourier, à condition qu'aucun harmonique de $g(t)$ ne soit pas trop voisin de ω_0. La méthode précédente peut donc aussi être utilisée pour le calcul de la réponse transitoire de l'amplificateur.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) I. Gumowski, J. Lagasse et Y. Sevely, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1995.

MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE. — *Structure superficielle et structure interne du verre.* Note (*) de MM. **Maurice Navez** et **Claude Sella**, présentée par M. Jean-Jacques Trillat.

Différents travaux récents, basés sur des observations au microscope électronique tendent à montrer l'existence d'une structure fine dans le verre. Ces études ont été effectuées en particulier par Vogel ([1]) et Watanabe ([2]) sur des verres très spéciaux : fluorures doubles beryllo-alcalins et alcalino-terreux, verres borosilicatés et boroalcalins. Warshaw ([3]) a également observé sur des fractures de verres silicatés une structure granulaire mais la technique expérimentale utilisée par cet auteur ne permet pas d'affirmer que la structure observée est bien celle du verre et non celle de l'ombrage au platine de la réplique de carbone. Le problème restait donc posé de savoir si les verres silicatés industriels présentent une structure fine.

Le présent travail a pour but d'analyser la microstructure de ces verres et de comparer leur structure interne et leur structure superficielle. Cette étude a été faite au moyen d'un microscope électronique JEM 5 à haute résolution, en utilisant la technique des répliques directes faites, soit sur des surfaces de fractures, soit sur des surfaces polies.

1. *Étude de la structure interne.* — Cette structure ne peut être observée que sur une surface de fracture fraîche. Afin d'éviter une modification éventuelle de la structure de cette surface sous l'action de la vapeur d'eau et du gaz carbonique atmosphériques, toutes les cassures sont effectuées sous vide. A cet effet nous avons réalisé, avec le concours de S. Courneil et H. Gervais, un montage reproduit sur les figures 1 et 2. L'échantillon de verre (V) est placé sous le vide de 10^{-5} mm Hg d'une cloche à évaporation. La rupture est amorcée préalablement au moyen d'un trait de diamant (*fig.* 1). La cassure est obtenue au moyen d'une masselotte (M) commandée par un électroaimant (A). Un dispositif mécanique (D) permet sans rompre le vide d'orienter la surface de fracture, de façon à pouvoir effectuer l'ombrage sous un angle d'environ 20° au moyen d'un alliage de platine à 10 % d'iridium. Les résultats obtenus avec cet alliage sont beaucoup plus reproductibles qu'avec le platine seul pour une résolution sensiblement identique (10 à 20 Å environ). Le platine iridium est évaporé, soit à partir d'un filament de tungstène, soit simultanément avec le carbone de la réplique en disposant l'alliage dans un trou pratiqué à l'extrémité de l'une des électrodes de carbone. Un obturateur (O) commandé par un électroaimant permet de protéger l'échantillon contre toute contamination jusqu'au moment de l'évaporation du platine et du carbone qui s'effectue au moyen du dispositif (E) (*fig.* 2). La réplique ainsi réalisée se décolle facilement en plaçant l'échantillon dans l'eau distillée. La résolution des répliques est contrôlée à chaque expérience en plaçant à côté

de l'échantillon et avec la même orientation une surface témoin (T) constituée, soit par un clivage de chlorure de sodium, soit par un film amorphe (formwar) ne présentant aucune structure fine.

Cette technique expérimentale permet de montrer que dans le cas des verres silicatés industriels les surfaces de fracture présentent une structure granulaire très nette, représentée sur les figures 3, 4 et 5. Les dimensions moyennes des grains dus à l'ombrage métallique et observés simultanément sur les témoins sont toujours de l'ordre de 10 à 20 Å, alors que les dimensions moyennes des granulations observées sur les différents types de verres industriels sont de l'ordre de 100 Å pour la glace de Saint-Gobain, 70 Å pour le verre à vitres (Châlons), 300 Å pour le verre américain Lustragray et 50 Å pour le verre anglais float glass.

Dans le cas des borosilicates, les surfaces de fracture (*fig.* 6) montrent très nettement un phénomène de séparation de phases, déjà observé par Vogel ([1]). On distingue sur cette photographie de gros îlots de 0,1 à 0,5 μ, riches en silice, de fins précipités de borates de 200 Å et un milieu continu de B_2O_3. Une étude plus approfondie des gros îlots riches en silice révèle des systèmes de stries (*fig.* 7) caractéristiques d'une organisation précristalline.

Si le phénomène de séparation de phases est particulièrement net dans le cas des borosilicates, il n'est pas encore possible actuellement de dire dans les verres silicatés industriels si les hétérogénéités observées sont dues au même phénomène ou s'il s'agit d'une organisation structurale différente qui correspondrait par exemple aux modèles proposés par différents auteurs ([4]), ([5]).

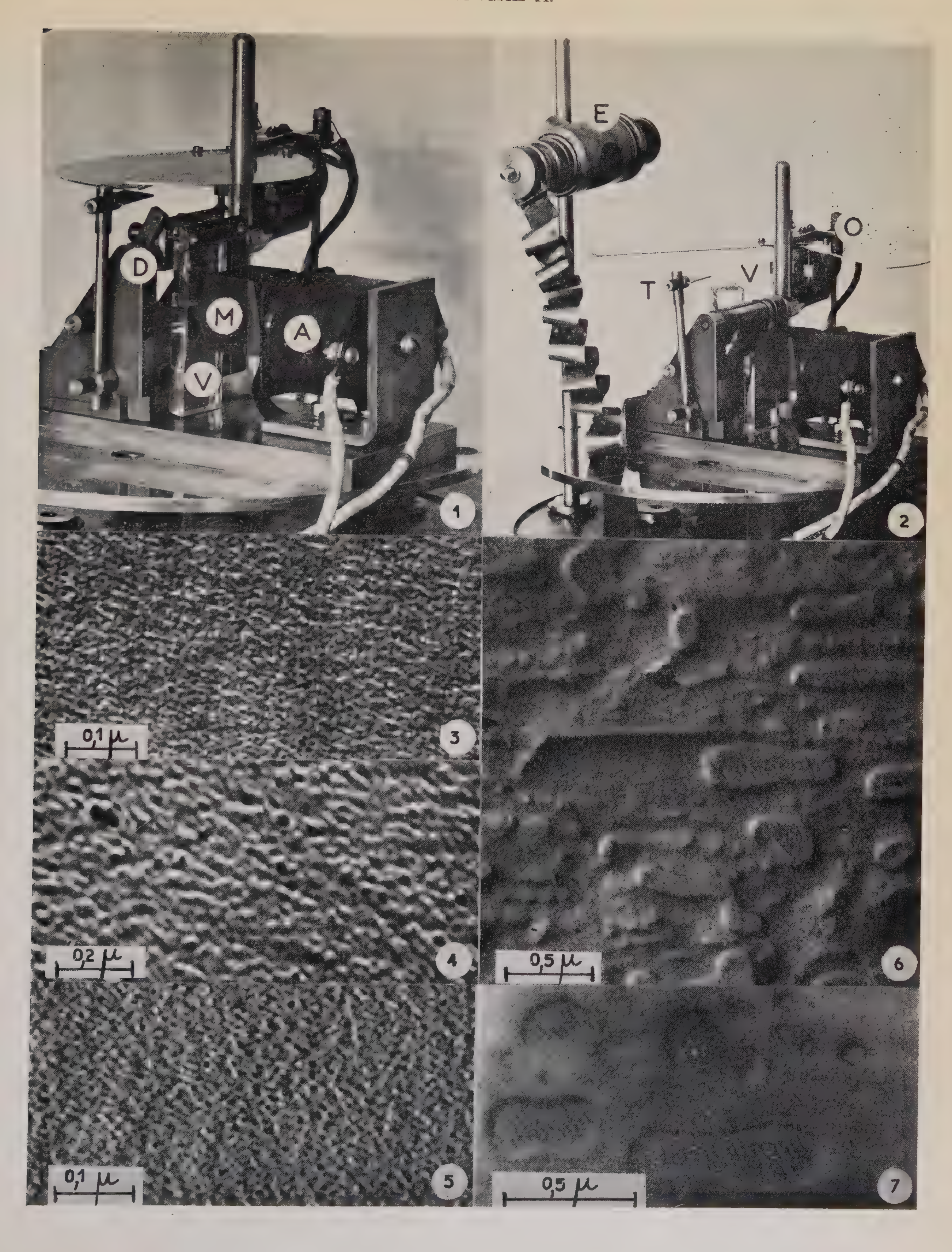
2. *Étude de la structure superficielle.* — Après avoir mis en évidence une structure interne caractéristique, il était intéressant de voir si cette structure se retrouvait sur les surfaces des mêmes échantillons ayant subi un traitement de polissage. Dans ce but nous avons examiné au microscope électronique des répliques directes faites par la méthode décrite précédemment sur les surfaces polies des échantillons utilisés dans l'étude précédente. Ces surfaces polies mécaniquement, ou polies au feu par étirage ou

EXPLICATION DES FIGURES.

PLANCHE A.

Fig. 1. — Appareil pour casser le verre sous vide, échantillon en position d'attente avant cassure.
Fig. 2. — Une des faces de fracture du verre est prête à recevoir l'ombrage.
Fig. 3. — Surface de fracture d'un verre à vitre.
Fig. 4. — Surface de fracture d'un verre américain « Lustragray ».
Fig. 5. — Surface de fracture d'une glace de Saint-Gobain.
Fig. 6. — Surface de fracture d'un verre borosilicaté.
Fig. 7. — Détail d'une surface de fracture d'un verre borosilicaté montrant un système de stries.

PLANCHE A.



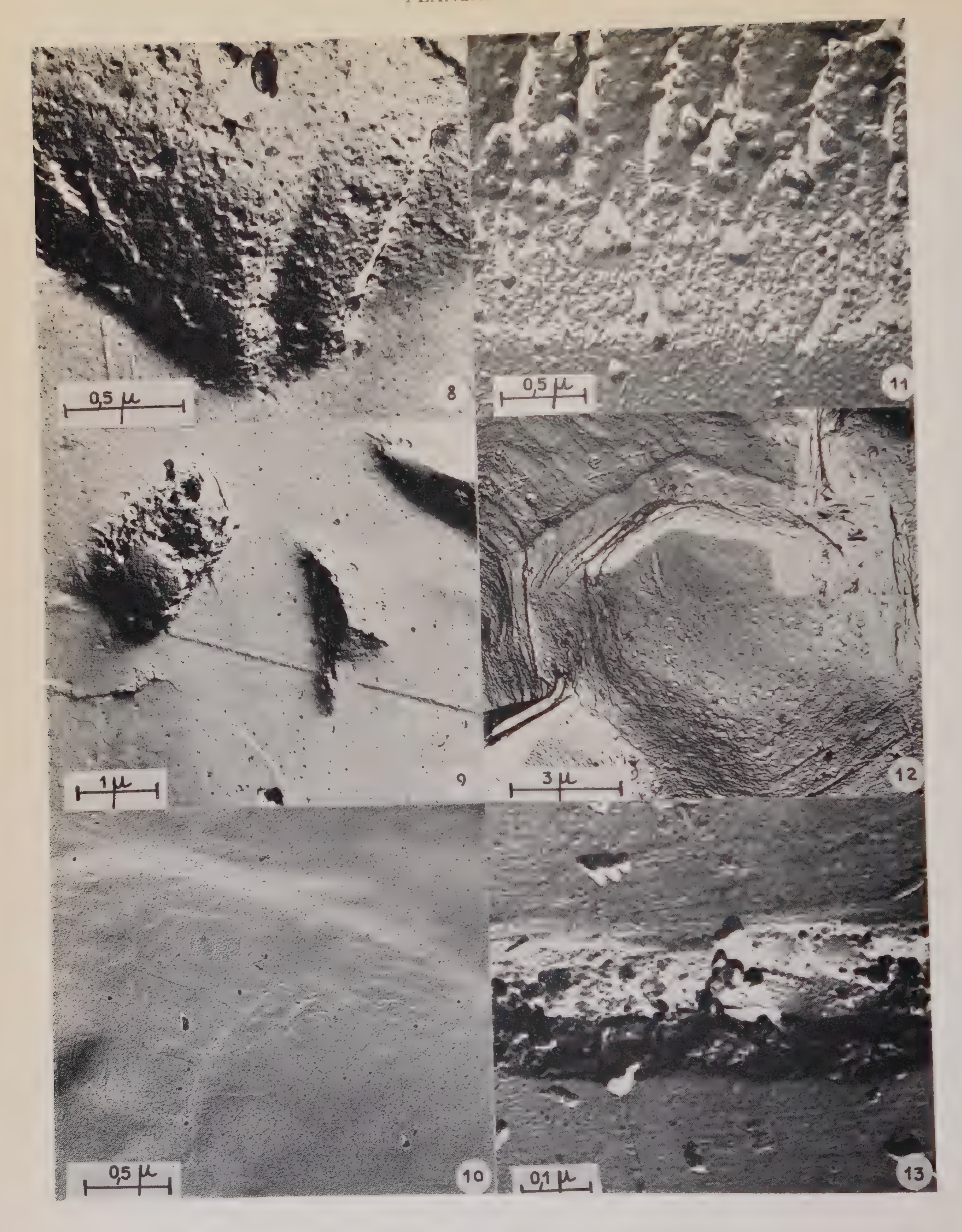

0,5 μ
8
0,5 μ
11
1 μ
9
3 μ
12
0,5 μ
10
0,1 μ
13

PLANCHE B.

Fig. 8, 9 et 10. — Évolution d'une surface de glace en cours de polissage.
Fig. 11. — Surface d'un verre anglais, obtenu par flottation sur un bain métallique.
Fig. 12. — Surface d'un verre dépoli.
Fig. 13. — Rayure d'une surface de verre à vitre.

encore préparées par flottation sur un bain d'étain fondu, ont été soigneusement nettoyées au teepol puis à l'eau distillée et à l'alcool. L'aspect général de ces surfaces polies est très différent de celui des surfaces de fracture. En particulier on ne retrouve plus la structure granulaire interne, les seules granulations observables ont des dimensions du même ordre de grandeur que celle des grains de l'ombrage métallique de la réplique. Il est donc difficile de dire si l'on se trouve en présence d'une phase superficielle continue et sans structure où si cette phase possède une granulation non décelable par les techniques actuelles d'observation en microscopie électronique. Par contre, dans tous les accidents que peuvent présenter ces surfaces (rayures, anfractuosités, etc.) on retrouve une granulation identique aux granulations internes décrites précédemment. Les figures de la planche B illustrent ces constatations. Les photographies 8, 9 et 10 représentent l'évolution de la surface d'une glace au cours d'un polissage mécanique. On remarque la disparition progressive des piqûres. La dernière photographie qui présente un bon poli, révèle des accidents superficiels ayant l'aspect de micromarches d'une centaine d'angströms d'épaisseur.

Conclusion. — L'ensemble de nos observations permet d'établir l'existence d'une structure granulaire interne dans les verres silicatés industriels sans qu'il soit toutefois possible de dire s'il s'agit comme dans les borosilicates d'un phénomène de séparation de microphases. Nous verrons dans une prochaine publication comment il est possible en observant directement par transmission des films très minces ou des fibres très fines de verre, de confirmer et de préciser cette structure interne et de suivre son évolution au cours de traitements et de cycles thermiques. Nos observations montrent en outre qu'il existe une différence très nette entre la structure superficielle du verre poli et sa structure interne. Nous nous proposons d'étudier plus précisément les facteurs thermiques, mécaniques ou physicochimiques qui sont à l'origine de cette importante différence structurale.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) W. VOGEL, *Compte rendu du Symposium sur la fusion du verre*, Bruxelles, 1958.
(2) M. WATANABE, H. NOAKE et R. AIBA, *J. Amer. Ceram. Soc.*, 42, n° 12, 1959, p. 593 et 599.
(3) I. WARSHAW, *J. Amer. Ceram. Soc.*, 43, n° 1, 1960, p. 4 et 9.
(4) L. W. TILTON, *J. Research Natl. Bur. Standards*, 59, 1957, p. 139.
(5) M. L. HUGGINS, *J. Phys. Chem.*, 58, 1954, p. 1141.

(*Laboratoire de Recherches de la Compagnie Saint-Gobain, Paris, et Laboratoire de Rayons X du C. N. R. S., Bellevue, Seine-et-Oise.*)

OPTIQUE. — *Sur l'onde de réflexion totale.* Note (*) de MM. **Paul Acloque** et **Claude Guillemet**, présentée par M. Gustave Ribaud.

Le phénomène de la réflexion totale comporte un effet de transmission d'énergie dans le milieu de plus faible indice, et cet effet n'est pas encore complètement éclairci. Il y a une douzaine d'années, Goos et Hänchen ([1]) ont démontré expérimentalement que, pour un pinceau lumineux de rayons parallèles, la réflexion totale s'accompagne d'une translation du pinceau réfléchi dans le plan d'incidence et ont interprété le phénomène comme si la réflexion se produisait sur une surface située à l'intérieur du second milieu. Artmann ([2]) et Fragstein ([3]), dans les années suivantes ont tenté d'établir théoriquement, par des voies différentes, les bases du phénomène.

Cette Note décrit quelques expériences simples mettant en évidence une véritable propagation de la lumière dans le second milieu.

Première expérience. — On prend un prisme en verre, de préférence un prisme dont la section droite est un triangle rectangle isoscèle et dont les faces sont polies à la teinte plate. On fait pénétrer dans le prisme, par l'une des faces de l'angle droit, un faisceau de lumière blanche émanant d'un collimateur dont la fente est parallèle à l'arête rectangle du prisme.

Ce faisceau atteint la face hypoténuse sous un angle d'incidence qui est *l'angle limite pour l'une des radiations que contient le faisceau.* Avant que le faisceau ne traverse le prisme, il est borné du côté de l'arête rectangle par un écran fixe A dont le bord, rectiligne, est normal au plan d'incidence. A la sortie du prisme, on dispose un autre écran B dont le bord est également normal au plan d'incidence et qui peut se mouvoir par translation dans son plan (*fig.* 1). On recueille le faisceau, à sa sortie du prisme, dans une lunette réglée pour l'infini et l'on observe alors à travers l'instrument l'image de la fente du collimateur. Cette image est affectée par un phénomène de diffraction analogue à celui fourni par une ouverture rectangulaire au voisinage d'un foyer. Lorsque l'écran B occulte de plus en plus le faisceau réfléchi, les franges de diffraction s'élargissent et leur intensité décroît jusqu'à ce que l'épaisseur géométrique du faisceau soit nulle : alors toute la lumière disparaît à l'exception *d'une raie colorée située à l'emplacement de l'image géométrique de la fente.* Lorsqu'on continue à faire avancer l'écran B (*fig.* 2), cette raie colorée subsiste et demeure immobile tandis que son intensité décroît progressivement. La lumière correspondante émerge donc de la face hypoténuse au-delà de la région atteinte par le faisceau incident (*fig.* 3) et sa direction est celle du faisceau réfléchi; elle est constituée de radiations pour lesquelles l'angle d'incidence est égal, ou supérieur, à l'angle limite. Toutefois seules les radiations correspondant à un angle limite très voisin de l'angle d'incidence ont une énergie appréciable.

Avec de la lumière monochromatique on peut observer la structure de la raie : l'intensité lumineuse décroît d'un bord à l'autre; le bord brillant correspond aux rayons qui émergent sous l'angle limite; le reste de la raie est formé de rayons émergeant sous un angle supérieur à l'angle limite. Sa largeur est au plus égale à celle de l'image géométrique de la fente.

Lorsqu'on utilise une lampe à vapeur de mercure de 90 W comme source de lumière, un collimateur dont l'objectif a une distance focale de 360 mm et la fente une largeur de 0,1 mm, un prisme en crown dont les faces de l'angle droit sont des carrés de 35 mm de côté, et lorsque l'incidence est limite pour la raie verte (5 461 Å), on peut encore voir la raie dans la lunette lorsqu'on a déplacé de 1 cm l'écran B à partir de la position où le faisceau réfléchi a une épaisseur géométrique nulle.

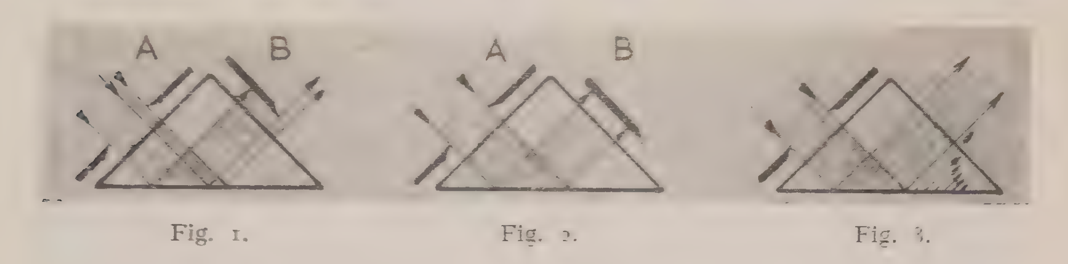


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

Enfin on constate que la lumière correspondant à la raie est *partiellement polarisée dans un plan normal au plan d'incidence.* Si l'on polarise rectilignement la lumière incidente, φ étant l'angle que fait la vibration avec le plan d'incidence, la raie demeure polarisée rectilignement, mais la vibration fait avec le plan d'incidence un angle φ'', qui est celui qui correspondrait à deux réfractions successives sous l'angle limite, c'est-à-dire qu'il vérifie à un degré près la formule théorique (n, indice du verre).

$$\operatorname{tg}\varphi'' = \frac{\operatorname{tg}\varphi}{n^2}.$$

Ainsi, cette expérience laisse supposer que l'onde évanescente, qui dans le second milieu accompagne l'onde de réflexion totale en glissant le long de la surface, se propage au-delà de la zone où l'onde incidente frappe la surface et donne naissance dans le premier milieu à une onde « réfractée ». Cette onde « réfractée » émerge dans une région où l'onde évanescente n'est plus au contact de l'onde incidente, et s'amortit en fonction de la distance à l'onde réfléchie. Comme l'énergie transportée par l'onde évanescente est d'autant plus faible que l'incidence est plus éloignée de l'incidence limite, on s'attend à ne pouvoir observer l'onde « réfractée » qu'au voisinage de l'incidence limite.

Deuxième expérience. — On peut modifier l'expérience précédente en remplaçant l'écran mobile B par un écran fixe perpendiculaire à la surface de séparation des deux milieux. Pour cela, on utilise deux prismes collés (*fig.* 4), non nécessairement constitués du même verre, les surfaces

au contact l'une de l'autre étant préalablement rendues opaques. On prend soin, après collage, de dresser parfaitement la face hypoténuse. Avec ce dispositif, on observe uniquement l'onde « réfractée », qui n'est visible que lorsque l'incidence est très voisine de l'angle limite correspondant au verre du premier prisme, l'onde « réfractée » émergeant sous l'angle limite correspondant au verre du second prisme.

Troisième expérience. — Par le moyen du dispositif représenté sur la figure 5, nous avons constaté que l'onde « réfractée » peut émerger à une grande distance de l'onde incidente : deux prismes en verre reposent sur la surface plane d'un volume en verre d'indice plus faible, par l'intermédiaire d'une couche de liquide d'indice plus élevé que ce dernier. Pénétrant par l'un des prismes, une onde plane vient frapper la surface de séparation sous l'incidence limite. L'onde évanescente, ne rencontrant pas

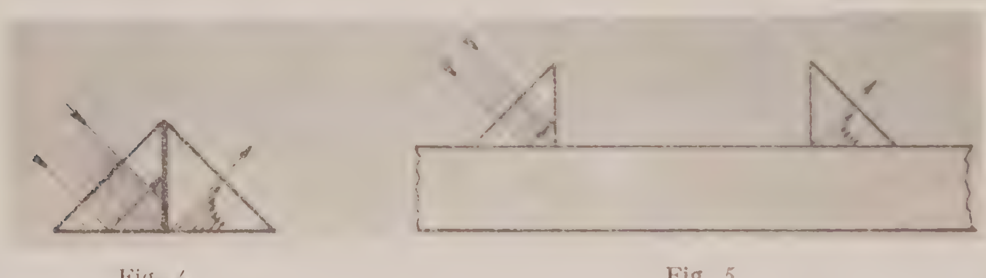


Fig. 4. Fig. 5.

la condition d'émergence dans un milieu d'indice plus faible, se propage le long de la surface libre sans perdre d'énergie (en dehors de l'absorption due au parcours dans le verre). Mais lorsqu'elle parvient à la hauteur du second prisme, elle donne naissance à l'onde « réfractée ». On peut encore réaliser l'expérience avec succès en éloignant de plusieurs centimètres les deux prismes.

Applications. — La possibilité ainsi offerte d'entretenir la propagation d'une onde dans les couches superficielles d'un milieu transparent et de recueillir cette onde présente des applications. D'une part, elle permet de concevoir une méthode de mesure d'indice de réfraction qui s'apparente à la méthode de Pulfrich en ce que l'onde « réfractée » émerge sous l'incidence limite. Mais cette méthode est plus précise du fait de la structure de la raie à pointer : l'angle limite se caractérise par une discontinuité d'éclairement dans le champ de la lunette. Un autre type d'applications est constitué par l'exploration des couches superficielles, soit pour mettre en évidence des hétérogénéités, soit pour déterminer une anisotropie. Dans ce dernier cas on opère en lumière polarisée.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) F. Goos et H. Hänchen, *Ann. Physik.*, (6), 1, 1947, p. 333.

(2) K. Artmann, *Ann. Physik.*, (6), 2, 1948, p. 87.

(3) C. v. Fragstein, *Ann. Physik.*, (6), 4, 1949, p. 271.

(*Laboratoire de Recherche fondamentale de la Compagnie de Saint-Gobain, Paris.*)

PHYSIQUE DU SOLIDE. — *Comportement du soufre sous l'action d'une onde de choc.* Note (*) de M. **Jean Berger**, Mlle **Suzanne Joigneau** et M. **Gaston Bottet**, présentée par M. Gustave Ribaud.

Il est montré que la transition à l'état métallique déjà observée pour le soufre soumis à une onde de choc est liée à une discontinuité de l'adiabatique dynamique de ce corps; il semble que cette discontinuité soit due à la fusion, qui serait ainsi réalisée dans les conditions du choc.

Transition métallique. — Des études antérieures [1] ont montré que sous l'action d'une onde de choc suffisamment intense le soufre devenait bon conducteur de l'électricité; ce résultat a été confirmé par d'autres expérimentateurs [2], mais il était nécessaire de préciser l'intensité minimale du choc qui provoque la transition.

Le dispositif initial a été modifié : les paires d'électrodes destinées à la mesure de la résistance du soufre ont été placées perpendiculairement à l'axe de la cartouche (*fig.* 1). On peut ainsi suivre la progression de

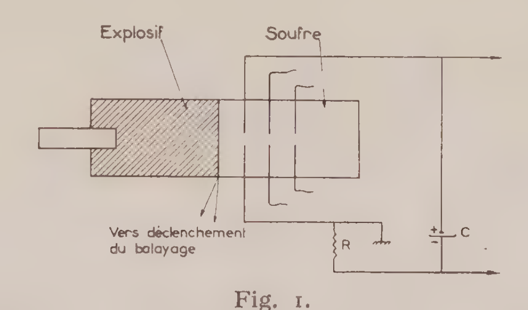


Fig. 1.

l'onde de choc dans le soufre et relier la résistance r mesurée à la vitesse U de l'onde. La variation de la résistance électrique ne peut être déterminée avec une très grande précision, surtout en raison de l'absence de renseignements sur la forme des lignes de courant et sur leur déformation au moment de la transition métallique; toutefois la résistance r varie très rapidement, de 10^6 à $10\,\Omega$ environ, lorsque la vitesse U du choc varie de 3 480 à 4 000 m/s, de sorte qu'on peut dire que la transition métallique se produit dans l'intervalle d'intensité de choc ainsi défini.

Adiabatique dynamique. — Afin de relier la vitesse d'onde aux grandeurs d'état p, v, T, caractéristiques du choc, il fallait déterminer la courbe d'Hugoniot du soufre. Celle-ci a été obtenue par la méthode des chambres à argon [3], [4] qui permet de mesurer simultanément la vitesse d'onde U et la vitesse matérielle u d'où l'on déduit immédiatement le volume spécifique v par l'équation de conservation de la masse et la pression par l'équation de conservation de la quantité de mouvement. On constate, dans le cas du soufre, une discontinuité dans la vitesse du choc. En l'absence de modification de structure, il existe généralement une corrélation linéaire

entre U et u : celle-ci est approximativement vérifiée par l'expérience pour U = 4 000 m/s ainsi que pour U = 3 480 m/s. Entre ces deux valeurs la vitesse de choc varie très rapidement.

Si l'on reporte sur la même figure les valeurs de log r en fonction de U obtenues précédemment, on constate que les variations brutales de ces deux grandeurs sont concomitantes (*fig.* 2). Les pressions de choc correspondant aux derniers points de mesure de part et d'autre de la discontinuité sont respectivement de 67 et 106 kbar.

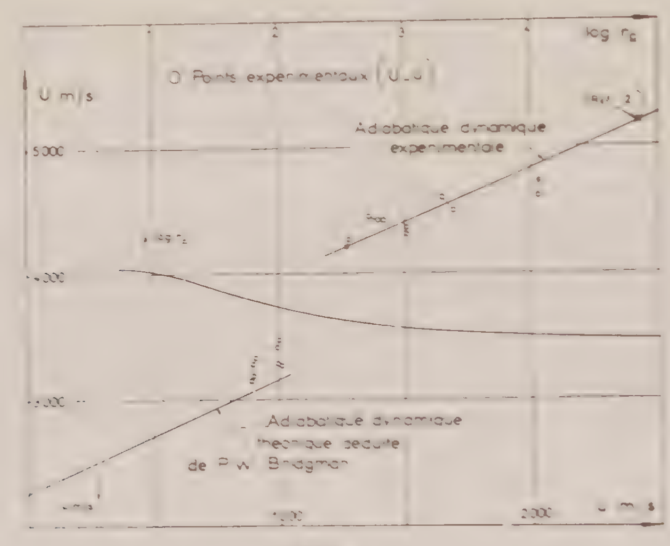


Fig.

Interprétation. — Il semble probable que la discontinuité observée soit due à la fusion du soufre dans les conditions du choc.

Tout d'abord, une discontinuité ΔU de la vitesse de choc sera liée à une variation Δv du volume spécifique par la relation

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta U}{U} \frac{u}{U - u},$$

déduite de l'équation de conservation de la masse à travers le choc. A la pression atmosphérique, la variation de volume à la fusion du soufre est $\Delta v_0/v_0 = 0{,}055$ et, d'après les résultats de Bridgman, il semble que $\Delta v/v$ varie peu avec la pression. Appliquée à la borne inférieure de la discontinuité, c'est-à-dire pour $U \sim 3\,400$ m/s, $u \sim 1000$ m/s, la formule précédente donne $\Delta U = 450$ m/s, ce qui est d'un ordre de grandeur conforme à l'expérience.

En second lieu, moyennant certaines hypothèses concernant en particulier la chaleur spécifique, il est possible de calculer la température T atteinte dans un choc de pression p. On peut, par ailleurs, en utilisant la loi de Lindemann et en supposant que le coefficient de Poisson est constant jusque dans les conditions de la fusion [6], calculer la variation de la

température de fusion en fonction de la pression. On trouve, dans le cas du soufre (*fig.* 3), que les conditions de fusion dans le choc sont réalisées à partir de $p \sim 90$ kbar, ce qui est également en accord avec les résultats précédents.

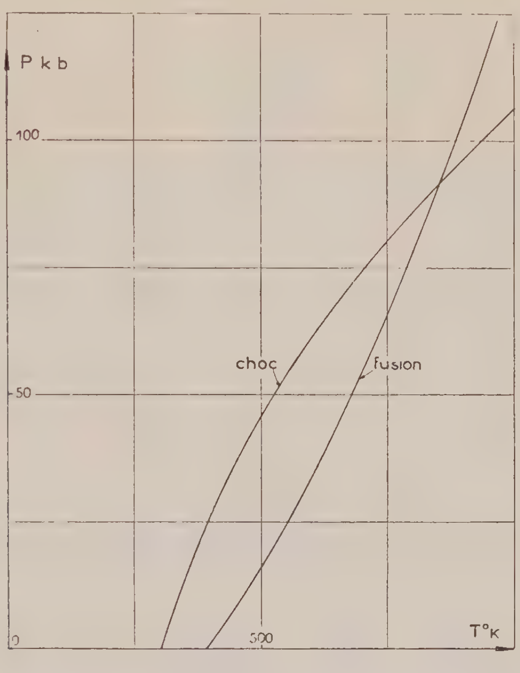


Fig. 3.

La transition métallique pourrait probablement s'interpréter en calculant les niveaux d'énergie correspondant à la bande de conduction en fonction de la maille du réseau cristallin qui peut être reliée à la pression ([7]). Il resterait alors à montrer que le phénomène se produit dans les conditions du choc en même temps que la fusion; il est possible que la rupture par la fusion des chaînes à 8 mol du soufre cristallisé facilite la libération des électrons de valence.

(*) Séance du 20 juin 1960.
([1]) S. Joigneau et J. Thouvenin, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 3422.
([2]) H. G. David et S. D. Hamann, *J. Chem. Phys.*, 28, n° 5, 1958, p. 1006.
([3]) J. Viard, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 820.
([4]) J. M. Walsh, M. H. Rice, R. G. Mc Queen et F. L. Yarger, *Phys. Rev.*, 108, n° 2, 1957, p. 196-216.
([5]) J. Berger et S. Joigneau, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2506.
([6]) J. J. Gilvarry, *Phys. Rev.*, 102, n° 2, 1956, p. 317-331.
([7]) R. E. Behringer, *Phys. Rev.*, 113, n° 3, 1959, p. 787-792.

PHYSIQUE DU SOLIDE. — *Influence des ultrasons sur l'émission et l'absorption de rayonnement γ sans recul.* Note (*) de M. **Anatole Abragam**, présentée par M. Francis Perrin.

On montre que l'introduction d'ultrasons dans un cristal contenant des noyaux radioactifs γ permet de balayer en fréquence leur spectre Mössbauer.

Comme W. Lamb l'a montré théoriquement ([1]) et R. L. Mössbauer expérimentalement ([2]), un noyau radioactif placé dans un réseau cristallin a une probabilité finie f de se désexciter en émettant un rayonnement γ monochromatique d'énergie égale à la distance E_0 des deux niveaux nucléaires entre lesquels se fait la transition. La conservation de l'énergie exige alors que l'état du réseau cristallin ne change pas au cours de l'émission γ, c'est-à-dire qu'aucun phonon ne soit absorbé ou émis.

La partie restante $(1-f)$ du rayonnement γ émis a, au contraire, un spectre large, l'élargissement étant dû à l'émission ou à l'absorption par le réseau d'un ou plusieurs phonons accompagnant l'émission γ.

Lorsque la température du cristal augmente, le nombre moyen $\bar{n}_s$ de phonons présents dans un mode de vibration donné de fréquence ω_s et polarisation $\vec{e}_s$ augmente également, et les probabilités d'émission et d'absorption de phonons variant respectivement comme $\bar{n}_s+1$ et $\bar{n}_s$, le coefficient f d'émission monochromatique diminue.

Si l'on excite le cristal par des ultrasons à une fréquence bien définie ω_0 on y crée une grande densité de phonons à cette fréquence et donc une probabilité non négligeable d'émission ou d'absorption d'un ou plusieurs phonons ω_0. On doit donc s'attendre à la présence dans le spectre γ émis de raies étroites déplacées par rapport à la fréquence $E_0/\hbar$ de $\pm p\omega_0$ où p est un nombre entier. Cet effet se calcule comme suit :

La forme W (E) du spectre d'émission est donnée par

$$(1) \qquad W(E)=\frac{2}{\Gamma}\operatorname{Re}\int_0^{\infty} e^{i\mu\left[E-E_0+i\frac{\Gamma}{2}\right]+g(\mu)}\,d\mu \quad ([1]).$$

où Γ est la largeur intrinsèque de la raie nucléaire et $g(\mu)$ une fonction qui dépend du réseau cristallin et qui est donnée par

$$(2) \qquad g(\mu)=\frac{1}{\hbar}\sum_s \frac{p_s^2}{2NM\omega_s}\left[\bar{n}_s e^{i\mu\omega_s}+(\bar{n}_s+1)e^{-i\mu\omega_s}-2\bar{n}_s-1\right] \quad ([1]).$$

Dans (2), M est la masse du noyau émetteur, N le nombre d'atomes dans le cristal et p_s la projection de l'impulsion $p=E_0/c=\hbar/\lambda\!\!\!^-$ du photon émis sur le vecteur de polarisation $\vec{e}_s$ d'un mode de vibration $(\vec{e}_s,\omega_s)$.

Le cristal excité par un générateur d'ultrasons à la fréquence ω_0 emmagasine à cette fréquence une énergie de vibration $\mathcal{U}(\omega_0)$. Appelant $\tilde{g}(\mu)$

la fonction (2) en présence d'ultrasons et $g(\mu)$ en leur absence, on obtient aisément à partir de (2) :

$$(3) \qquad \tilde{g}(\mu) = g(\mu) + \frac{p^2 \cos^2\varphi}{2\,\mathrm{NM}} \frac{\mathcal{U}(\omega_0)}{\hbar^2\omega_0^2} 2[\cos(\mu\omega_0) - 1].$$

Dans (3), φ est l'angle du vecteur de vibration ultrasonore avec le vecteur impulsion $\vec{p}$ du photon γ. Si la vibration ultrasonore n'est pas polarisée rectilignement, $\cos^2\varphi$ est à remplacer par une valeur moyenne. Pour obtenir (3) on a négligé dans (2) l'unité vis-à-vis de $n(\omega_0)$, une approximation très justifiée pour des énergies de vibration réalisables en pratique.

Posons

$$\frac{p^2\,\overline{\cos^2\varphi}}{\mathrm{NM}} \frac{\mathcal{U}(\omega_0)}{\hbar^2\omega_0^2} = \mathrm{X}.$$

Une formule classique donne

$$(4) \qquad e^{\mathrm{X}\cos\alpha} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \mathrm{I}_n(\mathrm{X})\, e^{in\alpha},$$

où $\mathrm{I}_n(\mathrm{X}) = i^{-n}\,\mathrm{J}_n(i\mathrm{X})$ est une fonction de Bessel de variable imaginaire.

Portant (3) dans (1) et utilisant (4), il vient

$$(5) \qquad \tilde{\mathrm{W}}(\mathrm{E}) = e^{-\mathrm{X}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \mathrm{I}_n(\mathrm{X})\,\mathrm{W}(\mathrm{E} - n\omega_0).$$

Cette formule s'interprète facilement. Le spectre $\tilde{\mathrm{W}}(\mathrm{E})$ en présence d'ultrasons s'obtient en superposant avec des poids $e^{-\mathrm{X}}\mathrm{I}_n(\mathrm{X})$ les spectres $\mathrm{W}(\mathrm{E} - n\omega_0)$ déplacés par rapport au spectre original de $n\omega_0$ où n est un entier positif ou négatif. En particulier, à la raie unique d'intensité relative f, les ultrasons font correspondre une suite de raies équidistantes. Leur intensité totale $f e^{-\mathrm{X}} \sum_n \mathrm{I}_n(\mathrm{X})$ est naturellement égale à celle de la raie unique initiale.

L'ordre de grandeur de X se détermine facilement. Si $\bar{b}^2$ est la valeur quadratique moyenne de l'amplitude du déplacement ultrasonore d'un noyau on a

$$\mathcal{U}(\omega_0) = \mathrm{N}\frac{\mathrm{M}\omega_0^2\,\bar{b}^2}{2} \qquad \text{et} \qquad \mathrm{X} = \frac{\cos^2\varphi}{2}\left(\frac{\bar{b}^2}{\bar{\lambda}^2}\right).$$

On voit donc que le paramètre X sera appréciable et l'effet des ultrasons observable si l'amplitude de vibration ultrasonore n'est pas petite par rapport à la longueur d'onde réduite $\bar{\lambda} = \lambda/2\pi$ du γ émis, un résultat physiquement plausible. A titre d'exemple, pour la transition de 14 keV de ^{57}Fe, $\bar{\lambda} = 0{,}14$ Å et pour la transition de 93 keV de ^{67}Zn, $\bar{\lambda} = 0{,}022$ Å.

Dans la gamme des mégacycles ou même des dizaines de mégacycles pour la fréquence ultrasonore ω_0, des amplitudes ultrasonores de cet ordre s'obtiennent avec des puissances très réduites.

Pour $X \ll 1$,

$$e^{-X} I_0(X) \simeq 1 - X \qquad \text{et} \qquad e^{-X} I_n(X) \simeq \left(\frac{X}{2}\right)^n \frac{1}{n!}.$$

Seules la raie centrale et les deux bandes latérales $\pm \omega_0$ d'intensité $X/2$ chacune sont observables. Pour $X = 1$, par exemple, les intensités de la bande centrale et de chacune des deux premières bandes latérales sont respectivement 0,466 et 0,208, le reste du spectre étant réparti dans les bandes d'ordre supérieur.

En faisant varier la fréquence ω_0 des ultrasons on a un moyen de balayer en fréquence le spectre de rayonnement Mössbauer, ce qui peut permettre une mesure absolue très précise des structures hyperfines.

Nous avons, dans ce qui précède, supposé que les vibrations étaient appliquées à la source, mais toutes les considérations précédentes s'appliquent naturellement à l'écran absorbant.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) W. E. LAMB, *Phys. Rev.*, 55, 1939, p. 190.

(2) R. L. MÖSSBAUER, *Z. Physik*, 151, 1958, p. 124.

(*Centre d'Études nucléaires de Saclay.*)

PHYSIQUE DU SOLIDE. — *Mesures des écarts à la loi d'Ohm et de l'effet de scintillation présentés par des couches très minces de germanium polycristallin.* Note (*) de M. Clément Uny, transmise par M. Louis Néel.

L'auteur donne ici des résultats de mesures d'écarts à la loi d'Ohm et d'effet de scintillation présentés par des couches très minces de germanium polycristallin obtenues par vaporisation sous vide sur support de silice amorphe.

1. Introduction. — Dans une Note précédente, j'ai étudié les écarts à la loi d'Ohm présentés par des couches très minces de germanium amorphe ([1]). Je donne ici les résultats correspondants à des mesures analogues et à des mesures d'effet de scintillation effectuées sur des couches polycristallines très minces de germanium, obtenues par vaporisation sous vide sur support de silice chauffé à 500° C environ. La technique de projection de la couche mince et de ses électrodes est identique à celle décrite dans ([2]), à cela près que les électrodes d'or sont maintenant déposées après refroidissement complet de la couche mince, pour limiter la diffusion de l'or dans le germanium. Le caractère polycristallin de la couche est contrôlé au diffractographe électronique ([3]). Nos mesures sont relatives à des couches présentant une résistivité superficielle comprise entre quelques milliers d'ohms et quelques centaines de mégohms, donc très inférieure à la résistivité superficielle d'isolement du support (10^{14} Ω).

2. Résultats expérimentaux. — *a. Mesures des écarts à la loi d'Ohm.* — On mesure la résistance de la lame en fonction du courant qu'on fait

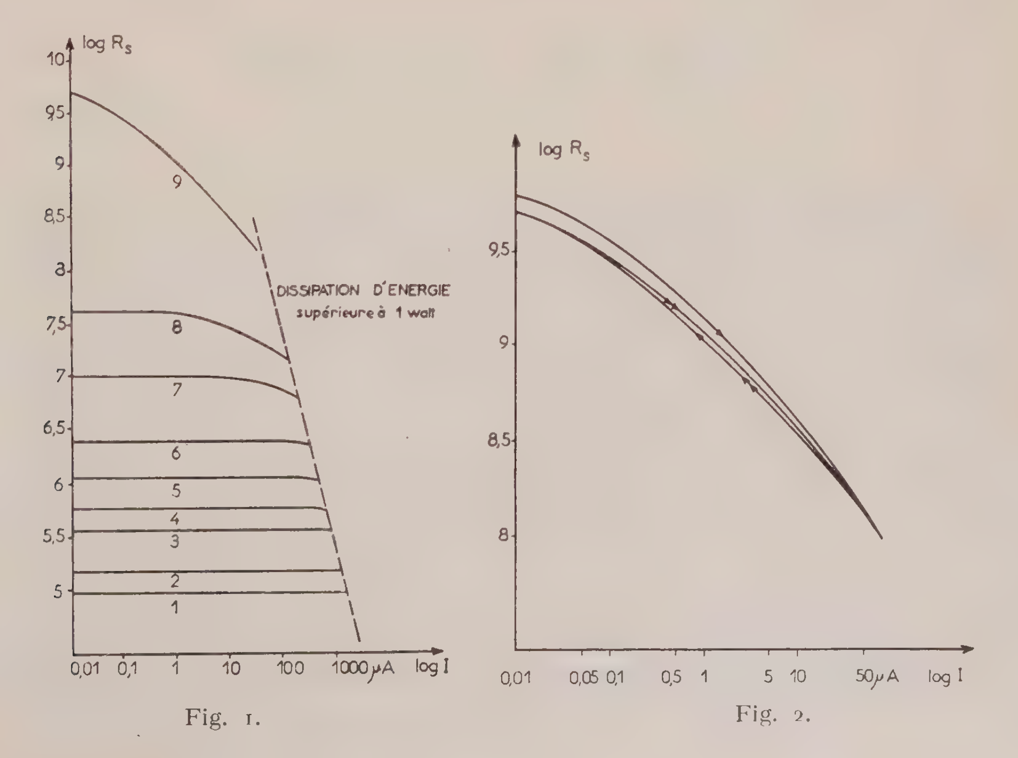


Fig. 1.

Fig. 2.

croître, puis décroître, et l'on recommence en inversant le sens du courant. Pour des résistivités superficielles supérieures à 10^{8} Ω, le retour du premier cycle ne coïncide pas avec l'aller, mais avec les aller et retours des cycles suivants qui sont réversibles; pour celles inférieures à 10^{8} Ω il y a coïncidence dès le premier cycle. Ceci est valable tant que la puissance dissipée dans la couche est insuffisante pour faire varier la température, donc la valeur de la résistance par effet thermique; l'existence d'un effet thermique non négligeable est mise en évidence par une certaine difficulté pour obtenir une mesure stable, la résistance variant dans le temps tant qu'il n'y a pas équilibre thermique. La figure 1 donne les caractéristiques

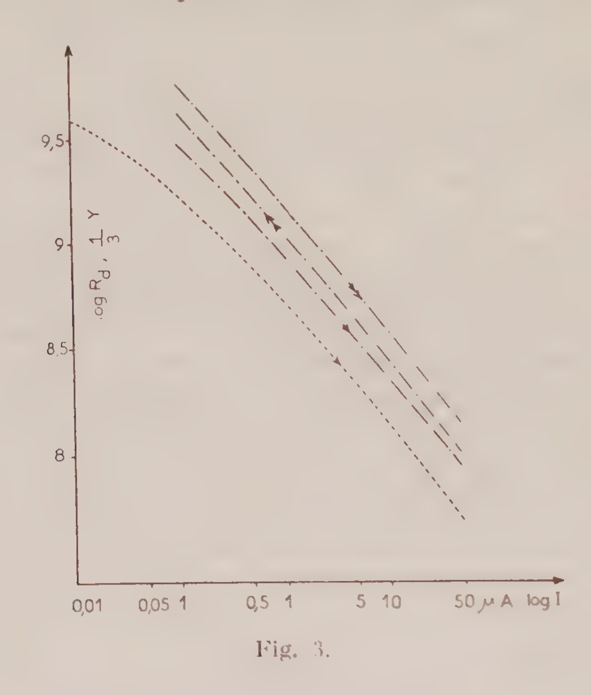


Fig. 3.

réversibles $\log R_s = f(\log I)$ présentées par les différentes couches minces étudiées (nos 1 à 9); nous avons indiqué aussi la droite au-delà de laquelle la puissance dissipée par centimètre carré est supérieure à 1 W et où les mesures d'écarts à la loi d'Ohm sont faussées par effet thermique. Les courbes nos 1 à 4 montrent que, pour des résistivités faibles, les écarts à la loi d'Ohm sont nuls, alors que, pour les courbes suivantes (nos 5 à 9), ces écarts sont d'autant plus importants que la résistivité augmente. La figure 2 montre, pour la couche no 9, le détail de deux cycles de mesures.

b. Mesures de bruit. — J'ai réalisé des mesures de variations de l'effet de scintillation de ces couches en fonction du courant I qui les traverse. Dans le but de vérifier si la densité spectrale $\overline{e_\nu^2}$ des fluctuations constituant cet effet est proportionnelle à $I^2 R_d^3$ (R_d est la résistance dynamique dV/dI), nous avons comparé la variation de $\log R_d$ et celle de la quantité $(1/3)\, Y = \log \overline{e_\nu^2} - 2 \log I$ en fonction de I [4].

Sur la figure 3 nous avons construit ces courbes pour la lame n° 9. L'accord avec la loi en $I^2 R_d^3$ paraît bon.

Alors que nos résultats relatifs aux métaux pouvaient s'expliquer par une théorie proposée par N. Nifontoff (5) supposant que les contacts entre grains métalliques se font par l'intermédiaire d'un tapis d'oxyde semi-conducteur, nous pourrions justifier ces derniers résultats relatifs au germanium en supposant une inhomogénéité dans la répartition des impuretés entre les grains semi-conducteurs et le tapis semi-conducteur, et, par conséquent, dire que la résistance totale est la résultante d'une multitude de jonctions distribuées en série et en parallèle dans tout le sillon. A résistance superficielle égale, les écarts à la loi d'Ohm sont beaucoup plus marqués pour une lame de germanium polycristallin que ceux présentés par une lame de germanium amorphe (1), ceci s'explique aisément par le fait que, dans le cas de la lame amorphe, le nombre de contacts est beaucoup plus grand, de telle sorte que la tension appliquée sur chaque contact est beaucoup plus faible.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) C. Uny, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 645.

(2) C. Uny et N. Nifontoff, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 906.

(3) M. J. M. Dunoyer, *J. Phys. Rad.*, 12, 1951, p. 602.

(4) N. Nifontoff, *Comptes rendus*, 235, 1952, p. 1117.

(5) N. Nifontoff, *Thèse*, Faculté des Sciences, Alger, 1955.

PHYSIQUE DE L'ÉTAT SOLIDE. — *Influence des traitements mécaniques des cristaux de sulfure de cadmium pur sur leur spectre d'absorption lumineuse à basse température.* Note (*) de M. **Evgueni Gross**, Mme **Marguerite Bancie-Grillot** et MM. **Edmond Grillot** et **Boris Razbirine**, présentée par M. Jean Wyart.

Les traitements mécaniques utilisés pour amincir les cristaux de CdS en vue d'étudier la structure de leur limite d'absorption lumineuse fondamentale à basse température [1], [2] font, en réalité, disparaître cette structure par superposition d'un fond continu estompé. Cet effet est attribuable, soit à une modification de la couche superficielle, soit à la production d'une grande densité de défauts de réseau.

La limite de l'absorption lumineuse fondamentale de cristaux de sulfure de cadmium pur refroidis à 4,2° K comporte une structure complexe [1]. On y distingue un premier groupe de raies larges et intenses et, du côté des grandes longueurs d'onde, un second groupe de raies fines et faibles. Deux d'entre nous ont exposé les raisons d'envisager que seules les raies du premier groupe aient une origine excitonique [2].

Par ailleurs, deux des auteurs [3] ont observé que le mode de croissance de monocristaux de sulfure de cadmium très pur influence fortement certaines de leurs propriétés optiques. Les premières expériences d'absorption, citées ci-dessus, avaient été effectuées par des cristaux préparés par synthèse en phase gazeuse [4]. Disposant également entre autres de monocristaux préparés par sublimation avec faible gradient de température [5], d'épaisseur pouvant atteindre 5 mm, il nous a semblé intéressant de comparer aux précédents leur spectre d'absorption à basse température.

Cependant, la structure de la limite d'absorption n'est distinctement observable qu'avec des cristaux de faible épaisseur. Avant d'étudier les gros cristaux [5] nous nous trouvions donc dans l'obligation de les amincir. Par sciage ou clivage suivi de limage et polissage, nous sommes parvenus à les réduire à l'état de pellicules d'épaisseur atteignant jusqu'à 20 μ.

L'étude des spectres d'absorption de ces cristaux refroidis à 4,2° K a donné des résultats inattendus. La limite de leur absorption fondamentale (*fig.* 1, courbe *a*) ne présente aucune trace de structure, contrairement à celle des cristaux de même épaisseur préparés par la méthode de Frerichs [5]. Fortement estompée, cette limite apparaît en outre déplacée d'environ 20 Å vers le rouge par rapport à la limite de ceux-ci.

Les différences constatées pouvaient s'expliquer, soit par une spécificité de structure ou de défauts de chaque sorte de cristaux initiaux, soit par l'altération des cristaux par les traitements mécaniques. Pour préciser ce point, nous avons également fait subir le limage et le polissage à des cristaux préparés par synthèse en phase vapeur [6]. L'un de ceux-ci avait 120 μ d'épaisseur; la structure de raies de sa limite d'absorption

était bien visible (*fig.* 2, courbe *a*). L'ayant aminci jusqu'à 80 μ nous avons constaté la disparition de cette structure (*fig.* 2, courbe *b*). Il est donc bien légitime d'imputer aux traitements mécaniques le remplacement

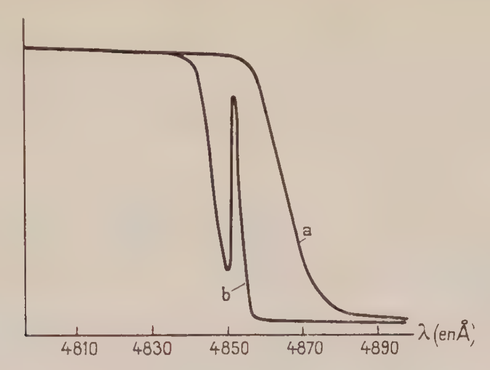


Fig. 1. — Spectres d'absorption de cristaux de CdS obtenus par la méthode de Grillot (3), refroidis à 4,2° K :

Courbe *a* : Cristaux limés et polis (épaisseur 20 μ);
Courbe *b* : Cristaux obtenus par clivage, sans traitement mécanique de la surface (épaisseur 20 à 40 μ).

Les raies de structure de λ = 4 889, 4 868, 4 861, 4 857 Å observables sur les clichés d'origine sont trop faibles pour apparaître sur ce microphotogramme.

des raies par le fond continu estompé. La tentative inverse suivante le confirme. Par seul clivage des gros cristaux obtenus par sublimation (5), nous sommes parvenus à préparer des échantillons de 20 à 40 μ

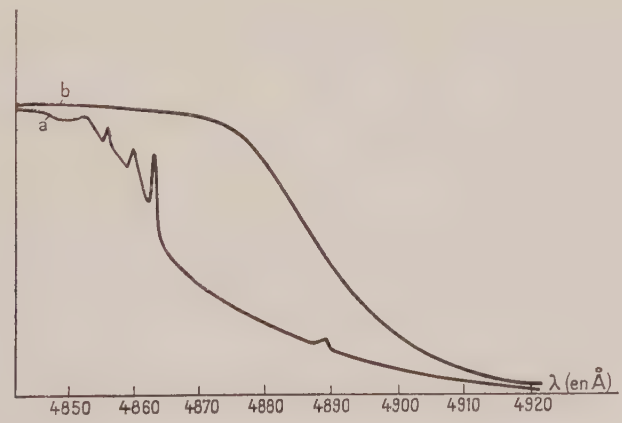


Fig. 2. — Spectres d'absorption de cristaux de CdS obtenus par la méthode de Frerichs (4), (6), refroidis à 4,2° K :

Courbe *a* : Avant limage et polissage (épaisseur 120 μ).
Courbe *b* : Après traitement (épaisseur 80 μ).

d'épaisseur. Une structure de raies sur la limite d'absorption s'est alors bien révélée (*fig.* 1, courbe *b*) analogue à celle observée pour les cristaux de même épaisseur préparés par synthèse en phase gazeuse,

bien que les raies d'absorption dans les cristaux clivés soient deux à trois fois plus estompées, ce qui peut être dû à des déformations non homogènes se produisant pendant la croissance ou pendant le clivage ([2]). Aucune augmentation du fond ne s'observait dans cette région. En outre, dans les spectres de réflexion étudiés du côté de la surface clivée des cristaux préparés par la méthode de Grillot ([3]), on observe les mêmes maximums et minimums de structure de faible longueur d'onde que dans ceux obtenus par la méthode de Frerichs ([4]).

Les expériences décrites ci-dessus démontrent que les traitements mécaniques de la surface des cristaux de sulfure de cadmium perturbent profondément les spectres d'absorption : l'observation de la structure, qu'on cherchait à favoriser, devient au contraire impossible par suite d'une forte absorption continue supplémentaire qu'ils déterminent.

Plusieurs explications de cette absorption supplémentaire peuvent être proposées. On pourrait d'abord envisager une modification allotropique de la zone superficielle du cristal. Par analogie avec des faits observés pour des métaux ou autres cristaux ([7]), il se forme peut être une couche partiellement désorganisée (amorphisation) s'étendant en profondeur jusqu'à quelques milliers d'angströms. L'apparition d'une variété cubique du sulfure de cadmium dans cette région est également possible.

Une autre hypothèse très vraisemblable est la production d'une grande densité de défauts de réseau et, en particulier, de dislocations par glissements des plans réticulaires, provoqués par le traitement mécanique. Les fortes tensions dans leur voisinage entraîneraient de légères variations des paramètres réticulaires et, par conséquent, des modifications locales, distribuées d'une manière hétérogène, de la largeur de la bande interdite. De telles perturbations devraient en effet causer, d'une part, l'étalement de la limite d'absorption et, d'autre part, une diminution importante de la probabilité de formation d'excitons.

(*) Séance du 20 juin 1960.

([1]) E. F. Gross et N. A. Karriev, *Dokl. Acad. Sc. U. R. S. S.*, 84, 1952, p. 471; E. F. Gross et M. A. Iakobson, *Dokl. Acad. Sc. U. R. S. S.*, 102, 1955, p. 485.

([2]) E. F. Gross, B. S. Razbirine et M. A. Iakobson, *J. Tekhn. Fiz. U. R. S. S.*, 27, 1957, p. 207 et 27, 1957, p. 1149.

([3]) E. Grillot, *J. Phys. Rad.*, 17, 1956, p. 671; E. Grillot et M. Bancie-Grillot, *Festkörper Physik*, Akademie Verlag, Berlin, 1958, p. 226-243; *Izvest. Acad. Sc. U.R.S.S.*, sér. phys. 22, 1958, p. 1356-1364.

([4]) R. Frerichs, *Phys. Rev.*, 72, 1947, p. 594.

([5]) E. Grillot, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 779.

([6]) R. Rompe (Institut für Strahlungsquellen, Berlin) nous a envoyé ces cristaux pour nos présentes recherches.

([7]) Z. G. Pinsker, *Diffraction des électrons*, Moscou, 1949, p. 333; P. B. Hirsch et I. N. Kellar, *Nature*, 162, 1948, p. 609; P. Gey et P. Khirch, *Propriétés des surfaces métalliques*, Moscou, 1954, p. 112.

(*Faculté de Physique de Leningrad,*
Faculté des Sciences de Paris.)

PHYSIQUE NUCLÉAIRE. — *Détermination des bruits de fond au moyen des produits croisés de la différence seconde dans la méthode de la flèche, permettant d'évaluer la diffusion multiple.* Note (*) de Mlle **Brigitte Dépaux**, Mme **Simone Desprez-Rebaud** et M. **Tsai-Chü**, présentée par M. Gustave Ribaud.

Le bruit de fond provenant de l'émulsion elle-même apparaît dans les produits croisés. Il augmente moins vite avec la longueur de cellule que dans la valeur quadratique moyenne des différences secondes $\overline{D_i^2}$. Le carré du bruit de fond peut même intervenir dans $\overline{D_i D_{i+1}}$ et $\overline{D_i D_{i+2}}$ avec un coefficient négatif.

1. Dans des émulsions G_5, nous avons mesuré en cellules de 50 μ, 4 000 flèches sur 20 traces de protons d'énergie 2 GeV, 2 000 flèches sur 10 traces de protons de 6 GeV et en cellules de 100 μ, 1000 flèches sur 10 traces de protons de 6 GeV. Pour des petites cellules, la diffusion coulombienne des traces de grande énergie est pratiquement négligeable, ce qui permet d'étudier le bruit de fond [1] dû aux mesures (e_1) et le bruit de fond (e_2) provenant de l'émulsion elle-même. Désignons par D_i la différence seconde de la flèche de la $i^{\text{ième}}$ cellule. $Ks^{3/2}$ étant la diffusion coulombienne, nous avons

$$(1) \qquad \overline{D_i^2} = K^2 s^3 + e_1^2 + e_2^2,$$

$$(2) \qquad \overline{D_i D_{i+1}} = \frac{1}{4} K^2 s^3 - \frac{2}{3} e_1^2 + a\, e_2^2,$$

$$(3) \qquad \overline{D_i D_{i+2}} = \frac{1}{6} e_1^2 + b\, e_2^2,$$

$$(4) \qquad \overline{D_i^2} + 2\overline{D_i D_{i+1}} + 2\overline{D_i D_{i+2}} = \frac{3}{2} K^2 s^3 + e_2^2(1 + 2a + 2b).$$

Le terme en e_2^2 n'a été étudié par de nombreux auteurs [2] que dans la relation (1); il augmente [1] avec la longueur s de la cellule.

2. Les grandes valeurs de D_i dues aux diffusions simples, qui apparaissent vers quatre fois la valeur moyenne des D_i, s'écartent d'une distribution gaussienne. Nous avons éliminé les valeurs supérieures à $4\overline{D}_i$ et nous avons calculé la moyenne $\overline{D}_c$ après coupure. En remplaçant chaque valeur éliminée par $4\overline{D}_c$, nous obtenons la moyenne $\overline{D}_r$ après remplacement. La proportion (n) des valeurs de D_i supérieures à $4\overline{D}_c$ est d'environ 1 % (tableau I). Les rapports $\overline{D}_r/\overline{D}_c$ et $\overline{D_r^2}/\overline{D_c^2}$ sont égaux respectivement à $1 + 3n$ et $1 + (32/\pi - 1)\, n$, soit 1,03 et 1,09 pour $n = 1\,\%$. Pour une distribution gaussienne jusqu'à $4\overline{D}_c$, les rapports $\overline{D_c^2}/(\overline{D}_c)^2$ et $\overline{D_r^2}/(\overline{D}_r)^2$ doivent être respectivement égaux à $0{,}496\,\pi$ et $1{,}03 \times 0{,}496\,\pi$, soit 1,56 et 1,61. Les valeurs expérimentales sont données dans le tableau I; les résultats obtenus avec des cellules de 500 μ ont été déduits d'un précédent travail [1]. Les valeurs expérimentales de $\overline{D}_r/\overline{D}_c$ et $\overline{D_r^2}/\overline{D_c^2}$ sont en

bon accord avec les valeurs calculées, mais celles de $\overline{D_i^2}/(\overline{D}_i)^2$ et $\overline{D_r^2}/(\overline{D}_r)^2$ sont toujours supérieures aux valeurs théoriques. Ceci peut provenir du fait que la distribution des D_i s'écarte légèrement d'une distribution gaussienne avant la coupure.

TABLEAU I.

Énergie (GeV).	Cellule s (μ).	$100n$ (%).	$\frac{\overline{D}_r}{\overline{D}_i}$.	$\frac{\overline{D_r^2}}{\overline{D_i^2}}$.	$\frac{\overline{D_i^2}}{(\overline{D}_i)^2}$.	$\frac{\overline{D_r^2}}{(\overline{D}_r)^2}$.
2...............	50	1,1 ± 0,1	1,03	1,09	1,64	1,68
	500	0,7 ± 0,3	1,02	1,06	1,65	1,68
6...............	50	0,7 ± 0,2	1,02	1,07	1,59	1,62
	100	1,4 ± 0,4	1,04	1,12	1,68	1,73
	500	1,0 ± 0,5	1,03	1,09	1,60	1,65
Moyenne...		1,0 ± 0,1	1,03	1,09	1,63	1,67

3. Les produits croisés prennent des valeurs, soit positives, soit négatives. L'élimination des grandes valeurs de D_i ne diminue la valeur de $\overline{D_i D_{i+1}}$ et de $\overline{D_i D_{i+2}}$ que si le produit ainsi éliminé est du signe de la valeur moyenne correspondante. Le nombre d'éliminations étant limité, ce procédé de coupure peut entraîner une augmentation de la valeur moyenne.

Pour éviter cette contradiction, nous avons utilisé la méthode consistant à remplacer les valeurs des D_i supérieures à $4\,\overline{D}_r$ par $4\,\overline{D}_r$ et nous avons divisé les valeurs de $\overline{D_i D_{i+1}}$ et de $\overline{D_i D_{i+2}}$ ainsi obtenues par le rapport $\overline{D_r^2}/(\overline{D}_r)^2$ de façon à pouvoir utiliser dans les calculs la valeur habituelle de la constante K relative à D_r. Les valeurs des produits croisés ainsi normalisées, en unités de μ^2, sont données dans le tableau II.

TABLEAU II.

Énergie (GeV).	Cellule s (μ).	$(\overline{D}_r)^2$ (.10^{-2}).	$(\overline{D_i D_{i+1}})_n$ (.10^{-2}).	$(\overline{D_i D_{i+2}})_n$ (.10^{-3}).	e_1^2 (.10^{-2}).	e_2^2 (.10^{-4}).	$a e_2^2$ (.10^{-4}).	$b e_2^2$ (.10^{-4}).
2.......	50	3,96	−2,30	1,88	3,9	4,7	30	−46
	500	8,86	−1,27	8,11	1,2	400	−140	+61
6.......	50	1,56	−0,973	1,81	1,5	2,7	5,0	− 7,5
	100	2,12	−1,30	2,72	2,0	11	3,9	− 6,3
	500	4,90	−1,57	1,37	1,2	315	− 90	− 6,4

Pour les cellules de 50 et 100 μ, le terme en e_1^2 est prépondérant dans la relation (1); en partant d'une valeur extrapolée de e_2^2 [4], nous avons calculé e_1^2 dans la relation (1) et nous en avons déduit $a e_2^2$ et $b e_2^2$ dans les relations (2) et (3). Pour les cellules de 500 μ, nous avons calculé e_2^2, $a e_2^2$ et $b e_2^2$, connaissant e_1^2. La valeur absolue de $a e_2^2$ augmente de 5 à 18 fois lorsque la longueur de cellule varie de 50 à 500 μ; celle de $b e_2^2$ augmente encore moins. La contribution du bruit de fond dans la relation (4) est

diminuée grâce aux valeurs négatives de ae_2^2 et de be_2^2. En effet, les rapports entre le bruit de fond global et la diffusion vraie sont respectivement 1,2 et 0,66 dans $\bar{D}_c$ et $\sqrt{\overline{D_c^2} + 2\,(\overline{D_i D_{i+1}})_n + 2\,(\overline{D_i D_{i+2}})_n}$ pour les protons de 2 GeV en cellules de 500 μ et 2,8 et 1,2 pour les protons de 6 GeV en cellules de 500 μ.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) B. Depaux et Tsai-Chü, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 404.

(2) *Voir* les références dans l'article (1).

PHYSIQUE NUCLÉAIRE. — *Caractères de transition des noyaux de radon.* Note (*) de M. **Roger Foucher**, présentée par M. Francis Perrin.

Nous donnons quelques faits expérimentaux qui permettent de penser que les radons ne sont ni des noyaux à déformation axiale stable, ni des noyaux sphériques.

Les probabilités d'émission par les noyaux de rayonnements γ quadrupolaires électriques sont souvent nettement plus grandes que les prévisions du modèle des couches; on ne peut cependant pas en déduire automatiquement que les niveaux excités nucléaires d'où ces rayonnements γ sont issus ont un caractère purement collectif. Pour les noyaux pair-pair possédant un certain nombre de nucléons en dehors des couches fermées, Bohr et Mottelson [1] ont été conduits à admettre que l'ensemble des nucléons se meut dans un potentiel nucléaire dont la forme varie peu autour d'une forme d'équilibre sphéroïdale lorsque le spectre des niveaux de basse énergie est semblable au spectre de rotation d'une molécule linéaire; ils ont donné la valeur maximale de l'énergie du premier niveau excité 2_+ compatible avec l'existence d'un spectre de rotation [2]

(1) $$E_{2_+}\,\text{max} \approx \frac{13\hbar^2}{\mathcal{J}_{\text{rig}}}$$

qui s'écrit, en terme de moment d'inertie

(2) $$\frac{\mathcal{J}}{\mathcal{J}_{\text{rig}}} \gtrsim 0{,}230,$$

où $\mathcal{J}_{\text{rig}}$ est le moment d'inertie du noyau considéré comme un ensemble sphéroïdal de nucléons indépendants :

(3) $$\mathcal{J}_{\text{rig}} = \frac{2}{5}\,\text{AM}\,R_0^2(1 + 0{,}31\,\beta + \ldots).$$

β est le paramètre de déformation axiale quadrupolaire qu'on peut déduire de la probabilité de transition $\gamma\,(E_2)$ du niveau 2_+, mesurée en unité Weisskopf.

(4) $$F = 0{,}4\,Z^2\beta^2(1 + 0{,}16\beta + \ldots)^2$$

d'après la théorie des niveaux de rotation.

Étant donné les nombreux succès du modèle de Bohr et Mottelson, on peut admettre que les noyaux satisfaisant le critère (1) possèdent une déformation axiale permanente. La notion même de déformation quadrupolaire intrinsèque a été introduite par Brix et Kopfermann pour expliquer les anomalies de déplacement isotopique de certains niveaux de structure hyperfine dans les terres rares. Parmi les éléments qu'ils ont étudiés, le ^{152}Sm, le ^{150}Nd et les éléments plus lourds ont des noyaux possédant un spectre de niveaux excités de type relationnel, mais les

noyaux de 62 ^{150}Sm, 62 ^{148}Sm, 60 ^{148}Nd, 60 ^{146}Nd ne satisfont plus le critère (1). Il faudrait donc admettre que, non seulement les noyaux dont les niveaux excités sont du type rotationnel doivent être traités comme des noyaux non sphériques, mais aussi les noyaux immédiatement voisins de masse inférieure ou égale [pour lesquels $E_{2+} > E_2$ (max)]; nous avons porté pour ces noyaux F (E_2) en ordonnée; N, nombre de neutrons en abscisse dans la figure 1.

Si l'on trace le même graphique pour les noyaux plus lourds que le plomb, ou mieux, si l'on porte F en fonction du nombre de masse (fig. 2) on est conduit à admettre, par analogie avec les Sm et Nd cités, que les

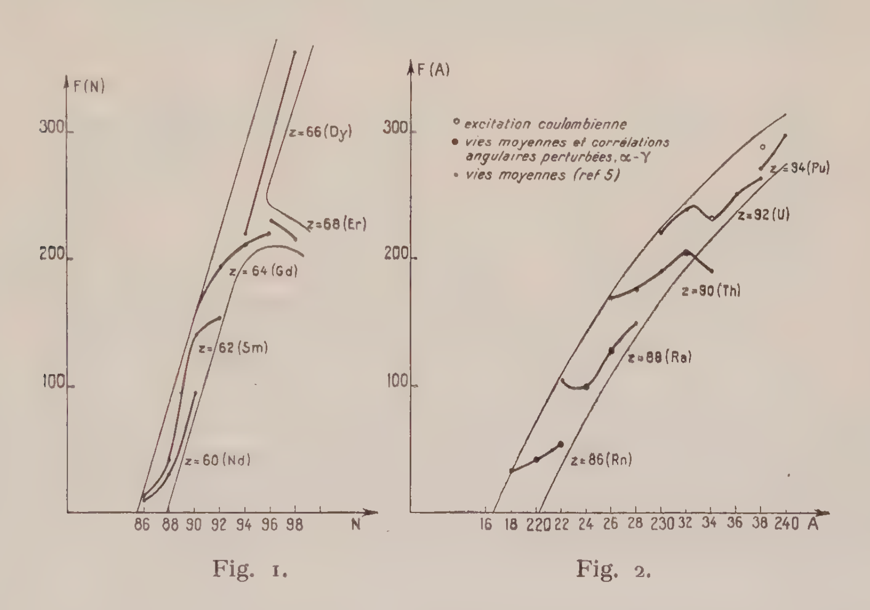


Fig. 1. Fig. 2.

radons ne sont pas sphériques ([4]), ([5]). De même, si l'on trace, en fonction de A, la valeur du rapport $\mathcal{I}/\mathcal{I}_{rig}$, on voit qu'elle décroît de 0,50 pour les plutonium et uranium à 0,10 pour les radons de façon quasi monotone; il semble donc possible de relier moment d'inertie et énergie du premier niveau 2_+ même pour les radons, bien que le critère (1) ne soit pas satisfait. D'après le graphique, si l'extrapolation a un sens, $\mathcal{I}/\mathcal{I}_{rig}$ ne pourrait plus être défini pour les noyaux de masse inférieure à 218 (fig. 3).

Le caractère de transition des radons est encore mis en lumière par l'existence d'un niveau de spin et parité 1_- de basse énergie comme dans les noyaux déformés alors que le premier niveau de parité négative serait 3_- dans un noyau sphérique; cependant, l'énergie du niveau 1_- décroît progressivement de 600 à 220 keV des plutonium au radium 224 et passe à 610 keV pour le radon 222, à 650 keV pour le radon 220. Cette discontinuité traduirait un changement de structure ([6]).

En conclusion, le fait que le critère E_{2+} (niveau de rotation) $< 13\, \hbar^2/\mathcal{I}_{rig}$ soit vérifié pour les noyaux lourds comme pour les terres rares n'indique pas qu'on passe de noyaux à déformation axiale symétrique stabilisée à

des noyaux quasi sphériques lorsque E_{2+} devient supérieure à $13\,\hbar^2/\mathcal{J}_{\text{rig}}$; les noyaux de ^{222}Rn et ^{220}Rn comme ceux de ^{150}Sm et de ^{148}Nd possèdent des caractères de transition; le spectre des premiers niveaux excités, la vie moyenne et le moment quadrupolaire électrique du premier niveau 2_+ (*) du ^{222}Rn et du ^{220}Rn s'expliquent peut-être dans un modèle

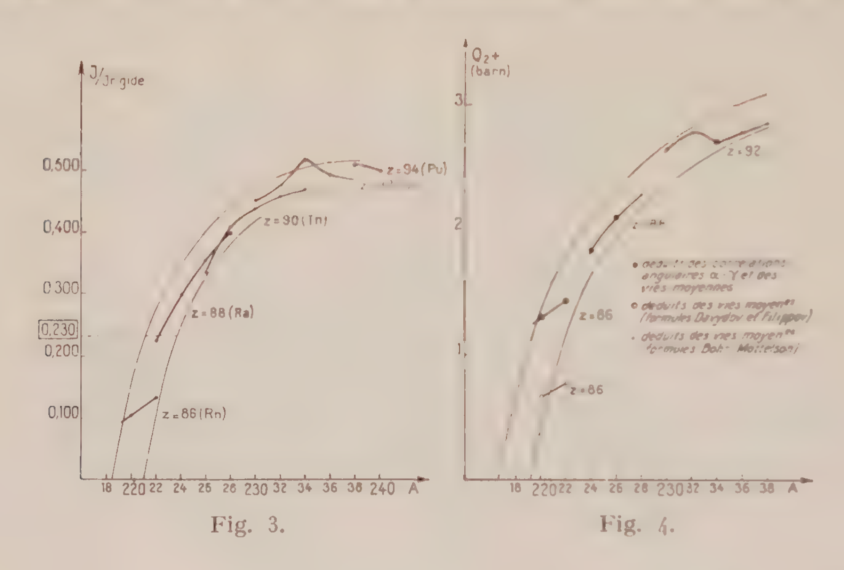


Fig. 3. Fig. 4.

de noyaux déformés sans symétrie axiale ([9]), ([10]); il ne semble pas qu'ils puissent l'être dans un modèle de noyaux purement γ instables ([11]) à cause de la valeur relativement grande du moment quadrupolaire spectroscopique du premier niveau (*fig.* 4).

(*) Séance du 20 juin 1960.

([1]) A. Bohr et B. R. Mottelson, *Kgl. Danske Vid. Selsk*, 27, n° 16, 1953.

([2]) K. Alder et coll., *Rev. Mod. Phys.*, 28, 1956, p. 432.

([3]) P. Brix et H. Kopfermann, *Z. Physik*, 126, 1944, p. 344.

([4]) R. Foucher, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2310.

([5]) R. E. Bell, S. Bjørnholm et J. C. Severiens (Communication privée).

([6]) R. K. Sheline, *Rev. Mod. Phys.*, 32, n° 1, 1960.

([7]) Pilger, *Thesis*, U. C. R. L., 3877, 1957.

([8]) R. Foucher, *Colloque Phys. Nucl.*, Grenoble, 1960.

([9]) C. Marty, *Nuclear Physics*, 1, 1958, p. 85.

([10]) Davydov et Filippov, *Nuclear Physics*, 8, 1958, p. 237.

([11]) Jean et Wilets, *Comptes rendus*, 241, 1955, p. 1108.

RADIOACTIVITÉ. — *Sur les mesures simultanées de l'activité du radon et de celle de ses descendants, dans l'air atmosphérique. Application possible à la prospection à distance de l'uranium.* Note (*) de MM. **Daniel Blanc**, **Jacques Fontan** et **Gilbert Vedrenne**, présentée par M. Gaston Dupouy.

L'association à une installation précédemment décrite ([1]) d'un papier filtre se déroulant devant un photomultiplicateur, permet de mesurer simultanément l'activité du radon et celle de ses descendants. Le rapport de ces activités dépend du temps depuis lequel le radon s'est dégagé du sol. Connaissant la direction du vent et sa vitesse, on pourra ainsi localiser à distance des gisements d'uranium.

Dans une Note récente ([1]), nous avons décrit une installation permettant le dosage direct et continu du radon dans l'air. Nous avons associé cet appareil à un système analogue aux « Babars » du Commissariat à l'énergie atomique ([2]), ([3]), pour mesurer de façon continue l'activité des descendants du radon présents dans l'air. Le principe est très simple : l'air est aspiré à travers un papier filtre à pouvoir de rétention élevé (papier Schneider rose), qui se déroule devant un compteur à scintillations (ZnS et P. M. 54 AVP), associé à un intégrateur et à un enregistreur graphique. La vitesse de déroulement du papier (18 cm/h) est calculée pour que chaque point du filtre demeure devant l'orifice d'aspiration durant 30 mn environ : ce temps est suffisant pour qu'on recueille 40 % de l'activité qui serait obtenue à l'équilibre, pour les descendants du radon; par contre, on ne retient que 2 à 3 % de l'activité qui serait obtenue, à l'équilibre, pour les descendants du thoron ([4]), et la contribution de ces derniers est négligeable.

Étalonnage du système à filtre collecteur. — Pour calculer l'activité recueillie par cet appareil, nous adoptons les hypothèses simplificatrices suivantes :

— Le radon est, dans l'air, en équilibre avec ses descendants;

— La variation, en chaque point du filtre, de l'activité, est une fonction linéaire du temps de passage de l'air : ceci est légitime puisque chaque point du filtre reste exposé au courant gazeux durant 30 mn.

L'activité α recueillie est, en nombre de désintégrations par seconde :

$$R_f = 4,2.10^{-3} \frac{v_f Q_0}{v'_f},$$

v_f étant le débit de l'air, en litres par seconde, v'_f la vitesse de déroulement du filtre en millimètres par minute, Q_0 le nombre des atomes de radon par litre d'air.

Dans nos mesures, $v'_f = 3$ mm/mn, et

$$R_f = 1,4.10^{-3} v_f Q_0.$$

Soit K le rendement de l'installation. L'activité mesurée est

$$R'_f = 1,4.10^{-3}\,K\,v_f Q_0. \tag{1}$$

Nous utilisons simultanément la chambre de désintégration et le filtre à déroulement continu, en réglant les deux pompes d'aspiration pour que les débits d'air soient les mêmes dans les deux installations, et nous avons mesuré l'activité R'_c sur le filtre de sortie de la chambre, quand l'équilibre radioactif est atteint. Le calcul montre que

$$R'_c = (12,6.10^{-[illegible]})\,v_c Q_0,$$

v étant le débit de l'air dans la chambre de désintégration.

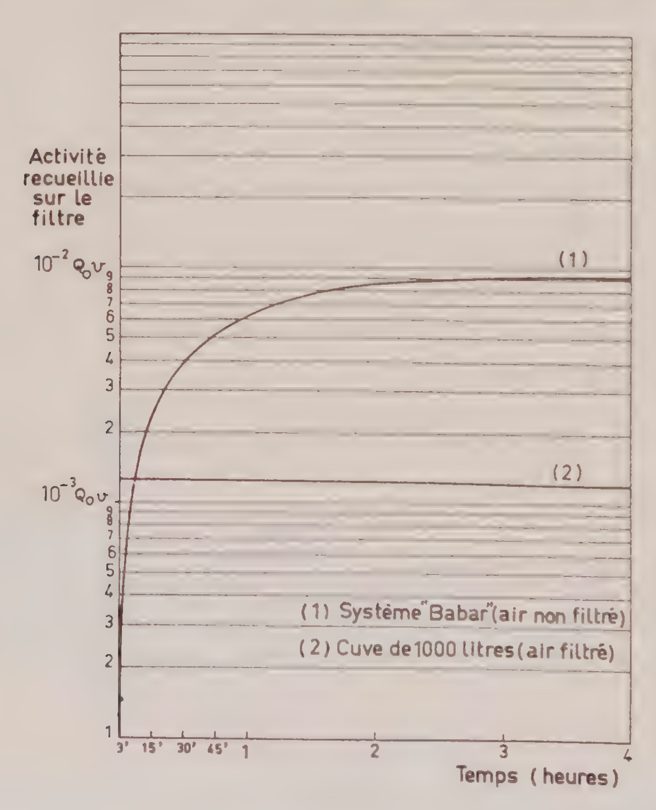
D'où

$$\frac{R'_f}{R'_c} = \frac{K.1,4.10^{-3}}{12,6.10^{-[illegible]}} \# 13$$

et

$$K = 0,11.$$

Le rendement de l'installation à déroulement continu est voisin de 10 %.



Mesure de l'âge de l'air. Application possible à la prospection de l'uranium. — En un point A du sol se produit un dégagement relativement important de radon. Le vent qui souffle en ce point emporte avec lui, chaque seconde, une quantité constante de radon : les équations de filiation radio-

active permettent de calculer l'activité des descendants qui apparaissent en fonction du temps, cette activité tendant vers la valeur d'équilibre. Vohra [5] a utilisé la mesure de l'activité des descendants du thoron et du radon pour localiser des gisements radioactifs.

La figure 1 donne, en fonction du temps depuis lequel l'air contient les produits radioactifs, c'est-à-dire de son « âge », l'activité des descendants du radon (1) et celle du radon lui-même (2) : le rapport de ces deux activités varie considérablement avec le temps t. On déduit t de la mesure des deux activités. D'autre part,

$$t = \frac{V}{D},$$

V étant la vitesse du vent, D la distance à laquelle se trouve le point A. Connaissant V, on obtient D, donc la position de A. En pratique, la méthode est moins précise que ne l'indique ce qui précède : le vent doit être de direction constante, et la mesure n'est possible que si la distance du gisement ne dépasse pas 200 km environ.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) D. Blanc, J. Fontan et G. Vedrenne, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3629.

(2) J. Labeyrie et M. Pelle, *J. Phys. Rad.*, 14, 1953, p. 477.

(3) C. Jehanno, A. Blanc, C. Lallemant et G. Roux, *Comptes rendus Conf. intern. appl. pacif. énergie atomique*, Genève, 1958, rapport P/329.

(4) J. H. Harley, *Thèse Ph. D.*, Rennselser Polytechn. Inst., 1952.

(5) K. G. Vohra, *Comptes rendus Conf. intern. appl. pacif. énergie atomique*, Genève, 1955, rapport P/869.

(Centre de Physique nucléaire, Faculté des Sciences de Toulouse.)

CHIMIE PHYSIQUE. — *Contribution à l'étude du système hafnium-hydrogène.* Note de MM. **Lucien Espagno**, **Pierre Azou** et **Paul Bastien**, présentée par M. Albert Portevin.

Nous avons comparé les comportements de l'hafnium et du zirconium vis-à-vis de l'hydrogène à l'aide de techniques dilatométriques et radiocristallographiques ainsi que par la solubilité du gaz dans les deux métaux.

L'objet de la présente Note est de rapporter les résultats obtenus pour le système hafnium-hydrogène au cours d'une étude analogue à celle que nous avons réalisée à propos du système zirconium-hydrogène [1]. L'appareillage a été décrit par ailleurs [2]. L'hafnium utilisé (Van Arkel laminé) titrait 97 %, la principale impureté étant du zirconium.

Sur la figure 1, nous avons porté la teneur en hydrogène absorbé par chaque métal en fonction de la température, au cours du chauffage et du refroidissement dans une atmosphère d'hydrogène à la pression normale. Les courbes présentent des paliers isothermes correspondant aux systèmes biphasés. Pour le zirconium, certains auteurs [3], [4] ont mis en évidence à 870° C un domaine biphasé entre $ZrH_{1.4}$ et $ZrH_{1.3}$. De même, nous pensons que, pour l'hafnium, il y a deux domaines biphasés : l'un à 950° C entre $HfH_{0.2}$ et $HfH_{0.5}$, l'autre aux environs de 400° C pour les teneurs voisines de $HfH_{1.7}$.

Tant qu'on est loin des conditions d'équilibre, d'une part, le volume d'hydrogène absorbé à pression constante suit la loi de Sieverts, en racine carrée du temps, $V_1 = k_1\sqrt{t}$ et, d'autre part, le volume extrait, sous vide entretenu, suit la loi linéaire du temps : $V_2 = k_2 t$, les constantes k_1 et k_2 étant fonctions exponentielles de la température [$k \exp - (Q/RT)$]. La cinétique d'hydrogénation dépend de nombreux facteurs : pureté de l'hydrogène, état de la surface et microstructure du métal. Aussi il apparaît difficile de calculer les chaleurs d'activation par l'étude des variations de k_1 et k_2 en fonction de la température. Toutefois, on peut conclure en première approximation, que la cinétique d'hydrogénation de l'hafnium est analogue à celle du zirconium à un décalage près de 100° C vers le bas de l'échelle des températures.

Après chargement en hydrogène, les échantillons de zirconium présentent une expansion importante. Nous avons montré que la variation relative de volume spécifique des deux métaux est identique pour des teneurs équivalentes en hydrogène (*fig.* 2). Ce phénomène est suffisamment reproductible pour être à la base d'une technique de dosage non destructive de l'hydrogène contenu dans chaque métal. Le résultat reste valable dans la partie linéaire de la courbe, même si l'un des deux métaux contient des traces de l'autre.

Nous avons conduit sur le système hafnium-hydrogène une étude dilatométrique analogue à celle qui nous a permis de déterminer certaines parties

du diagramme zirconium-hydrogène. Les coefficients de dilatation des deux métaux sont très voisins ($\alpha.10^6 = 5,9\,[1 + 0,0007\,(\theta - 20)]$ par °C). En présence d'une teneur identique en hydrogène, ils augmentent dans la même proportion. Cependant, certains échantillons d'hafnium hydrogéné présentent une expansion isotherme à 100° C au chauffage et inversement, une contraction à 80° C au refroidissement pour des cycles décrits à 50° C/h. L'amplitude de ce phénomène croît linéairement avec la teneur en hydrogène. Le maximum (4.10^{-4} en relatif) se situe à $HfH_{1,45}$.

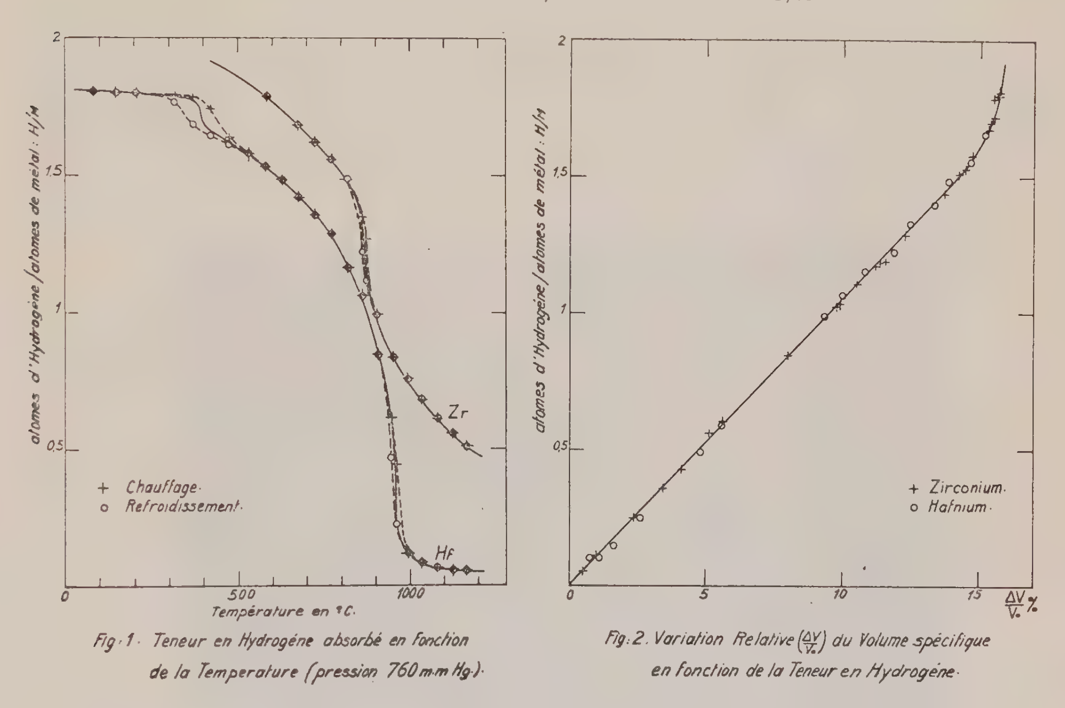


Fig. 1. Teneur en Hydrogène absorbé en fonction de la Temperature (pression 760 mm Hg).

Fig. 2. Variation Relative ($\frac{\Delta V}{V_0}$) du Volume spécifique en fonction de la Teneur en Hydrogène.

Pour rendre compte de ce dernier point, nous avons déterminé les paramètres cristallins des différentes phases du système HfH et suivi leur évolution en température. A l'ambiante, nos résultats sont voisins de ceux de Sidhu [5], [6] : maille hexagonale, $a = 3,206$ Å, $c = 5,067$ Å pour le métal pur; maille cubique à faces centrées $a = 4,702$ Å pour $HfH_{1,64}$. Pour les teneurs inférieures à cette concentration, la maille est cubique déformée. Ainsi, le cliché correspondant à HfH_1 révèle une maille tétragonale, $a = 4,70$ Å, $c = 4,68$ Å dont les paramètres sont difficiles à calculer car les raies en retour obtenues avec le rayonnement K_α du cuivre disparaissent, alors qu'elles sont très nettes pour les deux premières phases.

Le passage de la maille tétragonale à la maille cubique peut se faire par augmentation de la teneur en hydrogène ou par élévation de la température. Nous avons en effet montré, par une série de clichés sur l'échantillon HfH_1, que ce phénomène se produit de façon réversible entre 85 et 100° C. De plus, nous avons remarqué que, dans le domaine de stabilité de la phase cubique (θ supérieur à 100° C), le paramètre varie avec la teneur

en hydrogène. A 170° C, par exemple, à HfH_1 correspond $a = 4,678$ Å à $HfH_{1,64}$, $a = 4,708$ Å.

En conclusion, les systèmes ZrH et HfH sont voisins à bien des égards, mais il est curieux de remarquer qu'avec une transformation allotropique à 1735° C contre 865° C pour le zirconium ([illegible]), l'hafnium présente une transformation à 100° C, dès qu'on le charge en hydrogène, alors que la transformation eutectoïde du zirconium apparaît à 550° C (2).

(*) Séance du 13 juin 1960.

(1) L. Espagno, P. Azou et P. Bastien, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 83; 247, 1958, p. 1199; 248, 1959, p. 2003; 249, 1959, p. 1105.

(2) L. Espagno, P. Azou et P. Bastien, Communicat. *Journ. Automne Soc. franç. Métal.*, Paris, octobre 1959.

(3) A. Sieverts et E. Roel, *Z. anorg. allgem. Chem.*, 153, 1926, p. 289.

(4) A. Hall, H. Martin et G. Rees, *Trans. Far. Soc.*, 41, 1945, p. 306.

(5) S. Sidhu et Mc Guire, *J. App. Phys.*, 23, 1952, p. 1257.

(6) S. Sidhu, *Trans. A. S. M.*, 46, 1954, p. 652.

(7) K. Deardorff et H. Kato, *Trans. A. S. M.*, 215, 1959, p. 876.

(*Centre de Recherches de Physique*
à l'École Centrale des Arts et Manufactures.)

MÉTALLOGRAPHIE. — *Mise en évidence par micrographie de la polygonisation du cuivre de haute pureté.* Note (*) de Mme **Françoise Bourelier** et M. **Jean Montuelle**, présentée par M. Georges Chaudron.

La difficulté de révéler la sous-structure de polygonisation dans les métaux de haute pureté par une attaque micrographique a déjà été signalée, en particulier dans le cas de l'aluminium purifié par la méthode de la zone fondue ([1]). Cette propriété particulière des sous-joints se rencontre également dans le cas du cuivre électrolytique 99,999 % : une attaque micrographique dans un réactif constitué par 10 vol d'acide acétique et 1 vol d'acide nitrique met aisément en évidence la sous-structure du cuivre O. F. H. C.; par contre, dans ces conditions d'attaque, nous n'avons



Fig. 1. — Micrographie électronique montrant l'aspect d'un sous-joint dans un cristal de cuivre O. F. H. C. Attaque dans le réactif acétique-nitrique. Réplique de carbone. (G × 15 000.)

jamais pu observer de parois de polygonisation dans le cuivre électrolytique. Des observations analogues avaient d'abord conduit certains auteurs à penser que seul le cuivre le moins pur était susceptible de présenter le phénomène de polygonisation. Le problème des sous-joints, dans le cuivre de haute pureté, a été également abordé par l'étude de la formation de germes d'oxyde ou de sulfure : Young ([3]) ne trouve pas de concordance entre les germes d'oxyde et les dislocations dans le cuivre 99,999 % alors qu'elle existerait dans le cuivre O. F. H. C. et le cuivre 99,999 % dopé

au tellure et à l'étain. J. Oudar et J. Bénard [3] ont cependant pu révéler des parois de polygonisation dans le cuivre électrolytique par création de germes de sulfure à leur aplomb, au cours d'un chauffage à 850° C, sous pression réduite d'un mélange H_2-H_2S.

Nous avons préparé des monocristaux de cuivre O. F. H. C. et de cuivre électrolytique de titre conventionnel (99,99 %) par fusion et solidification lente sous vide, dans un creuset de graphite. Le traitement de polygonisation est réalisé par allongement de quelques pour-cent, suivi d'un

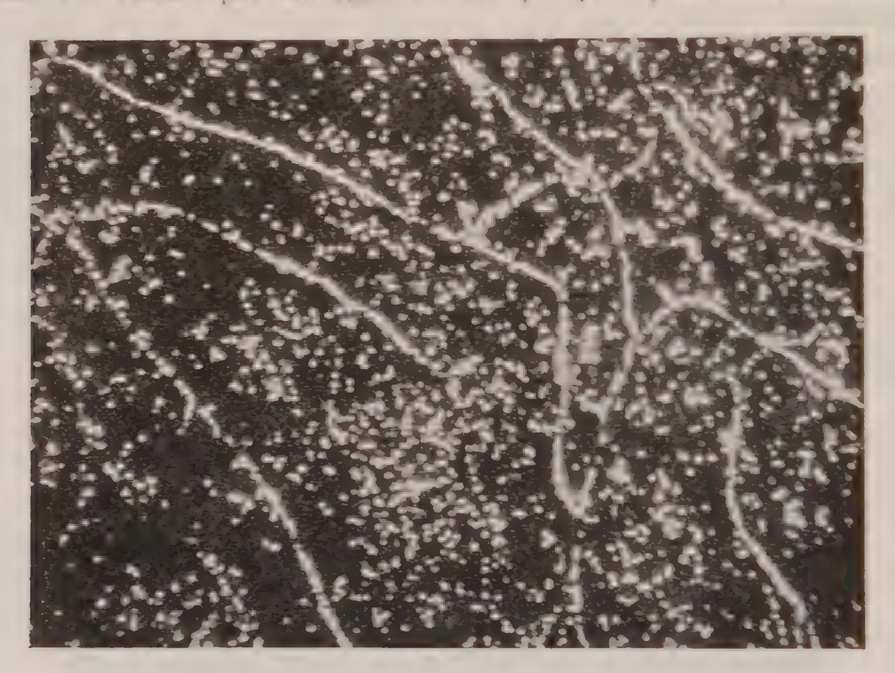


Fig. 2. — Micrographie en fond noir d'un cristal de cuivre 99,999 % polygonisé par allongement de 5 % et chauffage de 40 h à 1040°. La polygonisation est mise en évidence par sulfuration suivie d'un recuit de diffusion de 100 h à 500° C. Attaque par le réactif acétique-nitrique. (G × 350.)

recuit sous vide à une température légèrement inférieure à celle du point de fusion. Après polissage électrolytique, les échantillons sont attaqués 15 s dans le réactif acétique-nitrique. Dans ces conditions, la polygonisation est révélée uniquement sur les cristaux de cuivre O. F. H. C. : les sous-joints sont rendus observables par la formation d'alignements de petites figures de corrosion. La figure 1 montre l'aspect d'un sous-joint, examiné au microscope électronique, à l'aide d'une réplique de carbone, préparée selon la méthode de Jacquet [4]. Dans le cas du cuivre électrolytique, l'attaque micrographique directe sur les échantillons qui ont subi le traitement de polygonisation ne permet jamais de percevoir les parois de la sous-structure.

Nous avons alors pensé que la « décoration » des dislocations par diffusion superficielle de soufre, postérieurement à leur arrangement en sous-joints,

devait permettre leur mise en évidence au cours d'une attaque chimique. Dans ce but, des monocristaux de cuivre 99,999 % sont préalablement allongés de 2 à 5 % puis recuits à 1 040°. Après ce traitement de polygonisation à température élevée, on forme à la surface des cristaux un film mince de sulfure de cuivre, par immersion dans une solution aqueuse de sulfure de sodium et d'acide acétique. Enfin, on provoque la diffusion superficielle du soufre par chauffage sous vide de 100 h à 500° C : on remarquera que la température de ce traitement de diffusion est choisie aussi peu élevée que possible de façon que l'apparition de la polygonisation ne puisse pas être imputée à ce second recuit. Après dissolution de la couche superficielle de sulfure et polissage électrolytique, l'attaque micrographique dans le réactif acétique-nitrique permet d'observer l'alignement des figures de corrosion le long des sous-joints. Leur perceptibilité est limitée à une couche superficielle très mince dans laquelle le soufre a diffusé : en effet si elle est éliminée par polissage électrolytique, les sous-joints ne sont plus visibles après l'attaque chimique. La figure 2 montre une micrographie obtenue en fond noir sur un monocristal de cuivre électrolytique.

En conclusion, nous montrons par la micrographie que le cuivre pur électrolytique peut, comme le cuivre O. F. H. C. présenter la structure polygonisée. La méthode que nous proposons fait intervenir la diffusion préférentielle de soufre le long des sous-joints préalablement créés par un léger écrouissage suivi d'un recuit à température élevée. Nos résultats concordent avec ceux de J. Bénard (2) et de P. Beck (5) obtenus respectivement par sulfuration à haute température et par étude radiocristallographique. Nous nous proposons d'étudier maintenant l'influence de la pureté du cuivre sur la température d'apparition de la polygonisation.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) J. Montuelle, *Symposium de Métallurgie spéciale*, juin 1957, C. E. N. de Saclay, Presses Universitaires de France, p. 115.

(2) J. Oudar et J. Bénard, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2191.

(3) F. W. Young, *Acta Met.*, 8, 1960, p. 117.

(4) P. A. Jacquet et A. Van Effenterre, *Rev. Met.*, 54, 1957, p. 107.

(5) C. T. Wei, M. N. Parthasarathi et P. A. Beck, *J. Appl. Phys.*, 28, 1957, p. 787.

(*Centre d'Études de Chimie métallurgique du C. N. R. S.,*
Vitry-sur-Seine.)

CHIMIE GÉNÉRALE. — *Sur le mécanisme de la réaction de l'acide azothydrique avec l'hydrogène atomique.* Note (*) de MM. **Henri Guenebaut** et **Maurice Latour**, présentée par M. Paul Pascal.

Des mesures de températures de rotation, effectuées à partir de la flamme atomique N_3H/H, montrent que deux mécanismes distincts participent dans cette flamme à l'émission des systèmes singulet et triplet de NH. Tandis que la formation de NH ($^1\Pi$) semble pouvoir être attribuée à un processus d'origine thermique, celle de NH ($^3\Pi$) serait liée à un effet très appréciable de chimiluminescence.

L'étude du mécanisme de la réaction entre l'acide azothydrique et l'hydrogène atomique a été abordée récemment par G. Pannetier, l'un d'entre nous et A. G. Gaydon en utilisant le deutérium comme traceur [1], [2]. Il était alors apparu que la formation du radical NH s'effectuait au cours de cette réaction par deux mécanismes faisant intervenir l'hydrogène de la molécule N_3H pour le système triplet NH ($^3\Pi$) et l'hydrogène atomique en provenance de la décharge pour le système singulet NH ($^1\Pi$). A l'issue de ces observations, il était permis de penser que l'acte primaire de la réaction consistait en une simple décomposition thermique de la molécule N_3H, supposée dans un état fondamental triplet, suivant le processus

$$(1) \qquad N_3H(\text{triplet}) + E(\text{thermique}) \rightarrow N_2(^1\Sigma) + NH(^3\Pi) + E'.$$

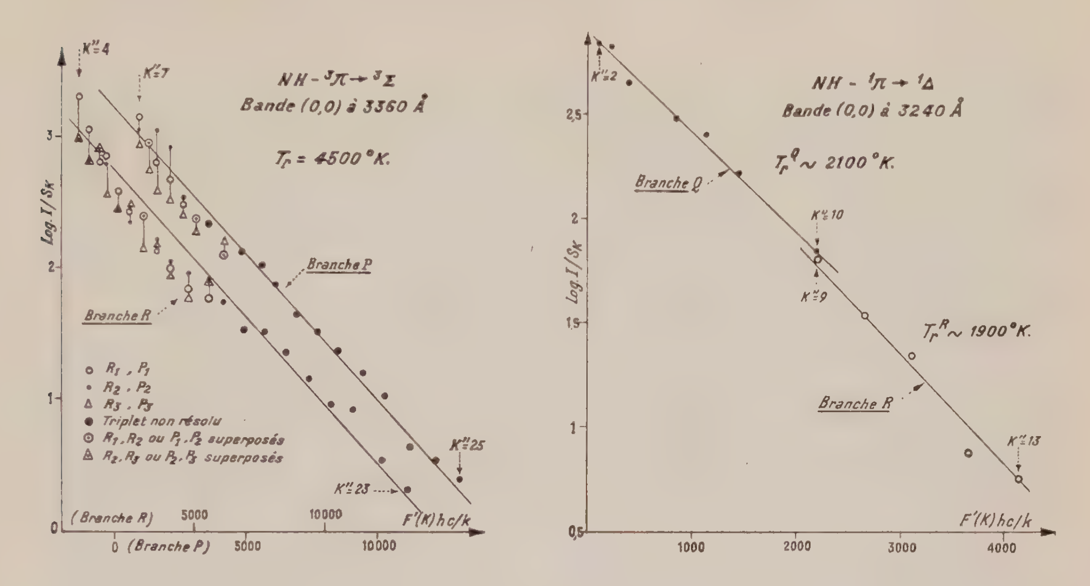
En raison de la règle de conservation du spin, le radical NH ($^1\Pi$) ne pouvait résulter du même mécanisme et il devenait possible de rattacher son origine à certaines réactions secondaires faisant intervenir l'hydrogène atomique.

Pour nos investigations, destinées à compléter ces premières observations par des mesures de températures de rotation, quelques modifications ont été apportées au dispositif expérimental déjà décrit en détails par l'un d'entre nous [2]; en particulier, pour obtenir une flamme stable, l'alimentation en acide azothydrique a été assurée grâce à une réserve de 40 l de ce composé gazeux, remplie jusqu'à des pressions maximales de 20 cm Hg; cette réserve était reliée d'une part à la chambre à réaction par l'intermédiaire d'une vanne régulatrice et d'un débimètre étalonné, d'autre part à un générateur chimique ($3N_3Na + PO_4H_3$, R. P. cristallisable) autorisant son alimentation en cours de manipulation.

La zone la plus lumineuse d'une flamme $N_3H + 2$ (H_2 partiellement dissocié), réalisée sous une pression totale de 1,5 mm Hg avec un débit ramené à la pression atmosphérique d'environ 2 l/mn a été utilisée.

Les mesures de températures ont été effectuées sur différentes branches des deux bandes (0,0) de NH ($^3\Pi - {}^3\Sigma$) à 3 360 Å et de NH ($^1\Pi - {}^1\Delta$) à 3 240 Å en utilisant pour B'_0 ($^3\Pi$) et B'_0 ($^1\Pi$) les données de Dixon [3] puis Dieke et Blue [4] respectivement. Ces bandes ont été enregistrées

sous une dispersion de 6 Å/mm, sur des plaques Kodak O*a*-O calibrées individuellement à l'aide d'un secteur logarithmique tournant à six échelons; un densitomètre Huet à lecture galvanométrique a été utilisé pour l'évaluation des densités optiques.



Les températures ont été ensuite déterminées par la méthode graphique [5] : si la population des différents niveaux de rotation considérés de NH est conforme à la loi de distribution de Maxwell-Boltzman, autrement dit si l'équilibre thermique est réalisé dans la flamme, l'intensité I d'une raie de rotation quelconque de NH peut être mise sous la forme

$$I = \mathrm{Cte}.S_K\, e^{-F'(K)\frac{hc}{kT_r}},$$

en admettant que les probabilités de transition puissent être représentées d'une manière convenable par les facteurs S_K de Hönl et London [6] et en négligeant la variation de ν^4 (ν, nombre d'onde) à l'intérieur d'une même branche. La représentation de $\mathrm{Log}\, I - \mathrm{Log}\, S_K$ en fonction de $F'(K)\, hc/k$ doit alors donner une droite dont la pente égale à $-1/T_r$ permet de caractériser une température dite de rotation.

Cette représentation a été effectuée sur les diagrammes suivants pour les bandes de NH précédentes. Les distributions observées sont sensiblement linéaires pour le système singulet de NH mais présentent par contre pour le système triplet des écarts plus évidents à l'équilibre thermique. Les températures de rotation qu'on peut en déduire, varient d'autre part du simple au double pour les deux systèmes électroniques envisagés; à l'issue de quelques mesures de la température réelle de la flamme, effectuées à l'aide d'un couple thermoélectrique Pt-Pt, Rh, nous pensons en outre que $T_r\,(^1\Pi - {}^1\Delta)$ est beaucoup plus proche de cette température réelle que $T_r\,(^3\Pi - {}^3\Sigma)$.

A l'appui de ces données expérimentales, il apparaît indiscutablement que deux processus réactionnels d'origines très différentes participent dans la flamme atomique N_3H/H à la formation du radical NH; tandis que l'apparition de $NH(^1\Pi)$ semble résulter d'une origine plus particulièrement thermique, celle de $NH(^3\Pi)$ bénéficie sans aucun doute d'un effet de chimiluminescence très appréciable qui engendre une émission hors de toute proportion avec celle qui correspondrait à la température réelle de la flamme; selon toute vraisemblance, cet effet pourrait effectivement résulter d'un processus primaire et principal de simple décomposition chimiluminescente de la molécule N_3H, conforme à la relation (1) et entretenu, malgré une pression très inférieure à la pression limite inférieure d'autodécomposition ([2]), par l'apport thermique permanent dû à la recombinaison des atomes d'hydrogène au sein de la zone réactionnelle.

Il est à remarquer que ces nouvelles observations renforcent l'hypothèse, précédemment admise ([1]), ([2]), selon laquelle la molécule N_3H posséderait un état fondamental triplet; il semble qu'elles permettent également d'attribuer à l'effet de chimiluminescence dont nous venons de parler, la diminution très marquée de l'intensité des bandes (2,1) et (3,2) de NH triplet par rapport à celle des bandes correspondantes de ND dans les spectres de flamme atomique N_3H/H et N_3D/H respectivement ([2]).

Pour compléter ce programme de recherches, des mesures identiques de températures, effectuées sur la flamme de décomposition autoentretenue de l'acide azothydrique pur réalisée dans des conditions expérimentales convenables, sont actuellement en cours.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) G. Pannetier, H. Guenebaut et A. G. Gaydon, *Comptes rendus*, 246, 1958, p. 88.

(2) H. Guenebaut, *Bull. Soc. Chim. Fr.*, 1959, p. 962.

(3) R. N. Dixon, *Canad. J. Phys.*, 35, 1957, p. 1170.

(4) G. H. Dieke et I. W. Blue, *Phys. Rev.*, 45, 1934, p. 395.

(5) A. G. Gaydon et H. G. Wolfhard, *Flames, their structure, radiation and temperature*, 2e éd., Chapman and Hall, London, 1960.

(6) G. Herzberg, *Molecular Spectra and Molecular Structure I-Spectra of Diatomic Molecules*, 2e éd., Van Nostrand, New Yokr.

(*Faculté des Sciences Laboratoire de Chimie, X,*
12, *rue Cuvier, Paris*, 5e.)

CHIMIE GÉNÉRALE. — *Sur l'existence d'un régime anormal dans l'allumage de certains propergols à acide nitrique.* Note (*) de M. **Michel L. J. Bernard**, présentée par M. Paul Pascal.

On sait que l'allumage correct d'une chambre de combustion à propergols liquides est conditionné en particulier par l'obtention d'un faible délai d'inflammation. La pression au moment de l'allumage est, toutes choses égales, fonction croissante de ce délai d'inflammation et des quantités de liquides présentes dans la chambre au moment de l'allumage. En général, on peut réaliser une mise en régime progressive de l'injection pour que la pression développée s'établisse ainsi dans la chambre sans à-coups.

C'est le cas par exemple du propergol acide nitrique + alcool furfurylique. Dans une chambre de combustion alimentée par ces propergols, d'un type dérivé de celui de Ladanyi ([1]) — dont un schéma est reproduit ci-dessous (*fig.* 1) — on réalise aisément des allumages tels que la pression

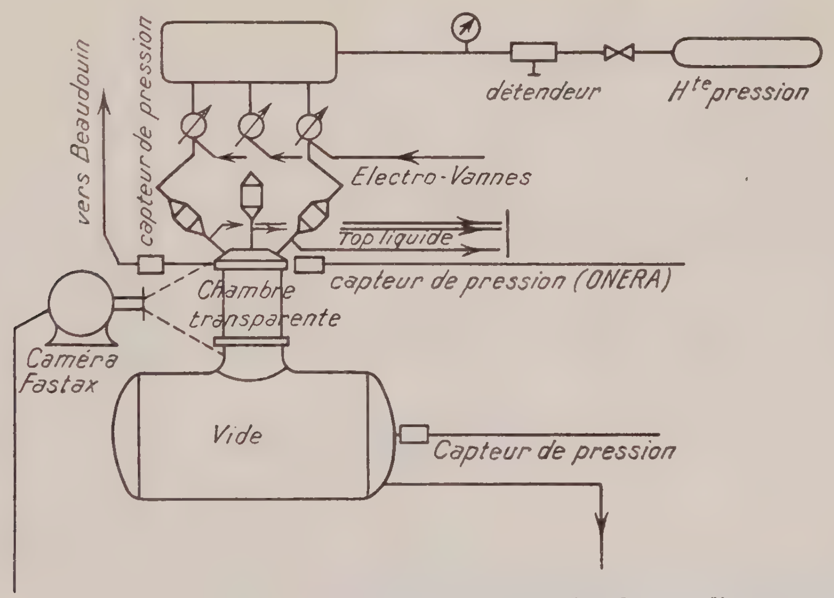


Fig. 1. — Dispositif d'étude de l'inflammation hypergolique.

de chambre évolue progressivement depuis 1 kg/cm² jusqu'à 25 kg/cm², valeur qui correspond au régime permanent, l'inflammation se produisant avec un délai de 15 à 25 ms après la rencontre des jets d'hypergols.

L'objet de cette Note est de rendre compte de l'existence d'un régime anormal d'allumage de certains combustibles hypergoliques avec l'acide nitrique, de mettre en évidence la nature du phénomène qui est à l'origine de cette perturbation, de préciser les conditions de sa formation et, par voie de conséquence, les moyens de la supprimer.

Lors de l'allumage de tels combustibles on enregistre des pressions d'intensité élevée, de l'ordre de 100 kg/cm², entraînant souvent l'explosion de la partie cylindrique de la chambre de combustion. Ces surpressions ne sont pas en rapport avec les quantités de liquides présentes, comme un calcul le montre aisément. Ces phénomènes se produisent avec certains composés azotés, hydrazines et amines, en particulier. Parmi les corps que nous avons étudiés, citons par ordre de sensibilité décroissante : éthylène diamine, diéthylaminoéthanol, hydrazine, triéthylamine, as-dimé-

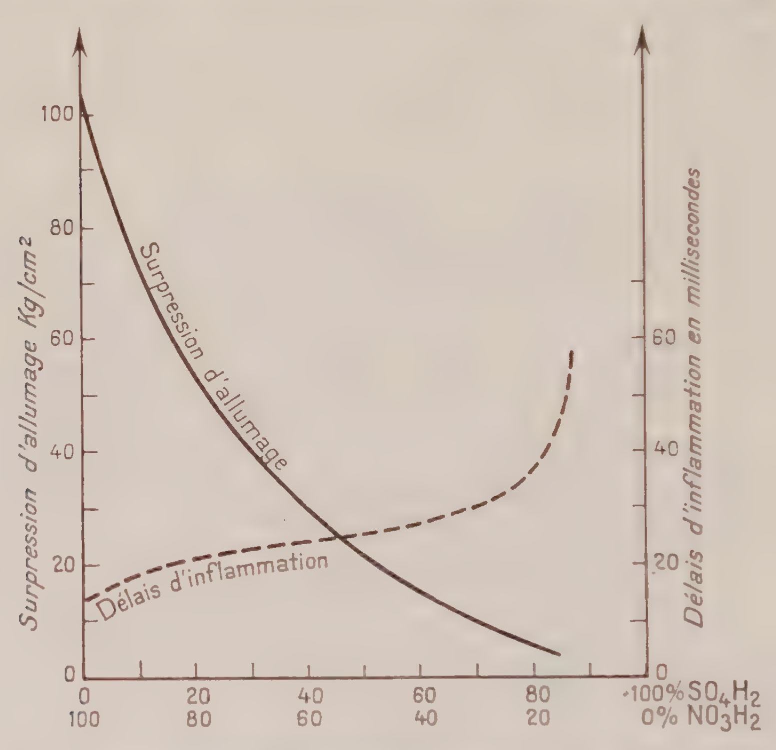


Fig. 2. — Caractéristiques d'allumage hypergolique de l'éthylène diamine avec différents mélanges sulfonitriques.

thylhydrazine. Dans le cas de l'éthylène diamine notamment, l'allumage s'accompagne de la formation d'une forte proportion de solides imbrûlés, récupérables lors des essais s'ensuivant de l'explosion de la chambre.

Nous avons reproduit la formation de ces composés intermédiaires en faisant réagir de façon ménagée l'acide nitrique et l'éthylène diamine. On obtient ainsi, avec un rendement élevé, un solide cristallisé qui a été identifié, d'une part, au dinitrate d'éthylène diamine

$$NO_3NH_3-CH_2-CH_2-NH_3NO_3,$$

préparé par des méthodes classiques [2] et, d'autre part, à nos résidus de combustion. Les autres nitrates d'amines ou d'hydrazine étudiés se préparent de façon analogue. Ces corps ont été soumis à des tests d'explo-

sifs ([3]). Ils présentent une sensibilité assez grande à l'amorce de fulminate de mercure, puisqu'ils ne détonent qu'avec une charge de 2 g. Leur sensibilité au choc est assez faible. Ils peuvent être comparés à ce point de vue, à des explosifs du type acide picrique, mélinite ou tolite ([2]). Les brusques variations de pressions et de température auxquelles sont soumises ces substances formées transitoirement sont propres néanmoins à entraîner leur amorçage explosif ou détonant. En effet, on a pu estimer que lors de l'allumage « normal » dans la chambre de combustion expérimentée, la montée en pression se produisait à la vitesse de 18 kg/cm^2/ms et la montée en température à la vitesse de 100° C/ms ([4]).

La formation de composés intermédiaires à décomposition explosive entre l'acide nitrique et certains combustibles hypergoliques rend compte ainsi de l'existence d'un régime d'allumage anormal caractérisé par de fortes surpressions de chambre. Les facteurs intrinsèques qui agissent sur ce phénomène sont principalement :

a. la vitesse de formation du sel considéré;

b. sa stabilité thermique;

c. sa sensibilité à la détonation.

Entre autres résultats, on a obtenu une vérification satisfaisante de cette hypothèse en étudiant l'allumage hypergolique de l'éthylène diamine avec différents mélanges sulfonitriques : par additions croissantes d'acide sulfurique à l'acide nitrique, on observe qu'à la réaction de nitratation de l'amine se substitue progressivement celle, également exothermique, de sulfatation : les délais d'inflammation varient peu, par contre les surpressions disparaissent rapidement (*fig.* 2). Corrélativement, on peut isoler des composés intermédiaires riches en sulfate d'éthylène diamine, composé stable thermiquement donc non susceptible d'une décomposition explosive.

Les études sont poursuivies du point de vue de la cinétique chimique.

(*) Séance du 20 juin 1960.

([1]) D. J. Ladanyi, *A. R. S.*, Preprint, p. 225-255.
([2]) A. Le Roux, *Mémorial des Poudres*, 32, 1950.
([3]) L. Médard, *Mémorial des Poudres*, 33, 1951.
([4]) S. J. Jacob, *A. R. S. Journal*, 30, 1960, p. 151.

(*Faculté des Sciences de l'Université de Poitiers, Laboratoire de Chimie thermodynamique.*)

CHIMIE ANALYTIQUE. — *Dosage par fluorescence de rayons X des terres cériques.* Note (*) de MM. **Charles Legrand**, **Jean Loriers**, Mme **Claudine Bouriannes** et Mlle **Jacqueline Poulain**, présentée par M. Jean-Jacques Trillat.

La méthode d'analyse par fluorescence de rayons X paraît bien appropriée au contrôle des séparations de terres rares par échanges d'ions. Pour les terres cériques : lanthane, praséodyme, néodyme, les déterminations peuvent s'effectuer sur leurs solutions; avec les mélanges ternaires, on obtient des courbes d'étalonnage linéaires.

Le contrôle de la séparation des terres rares par échange d'ions demande une méthode analytique rapide applicable de préférence aux solutions. Connaître leur titre donne la possibilité de fractionner à volonté les liqueurs issues des colonnes de résines échangeuses d'ions et de modifier au cours du travail le processus d'élution afin d'obtenir une pureté optimale et un bon rendement. Ce second point est important pour la conduite des opérations à grande échelle où l'on cherche à localiser dans les colonnes placées en série un élément du mélange initial pour le purifier ensuite plus complètement à l'aide de nouvelles colonnes placées en dérivation.

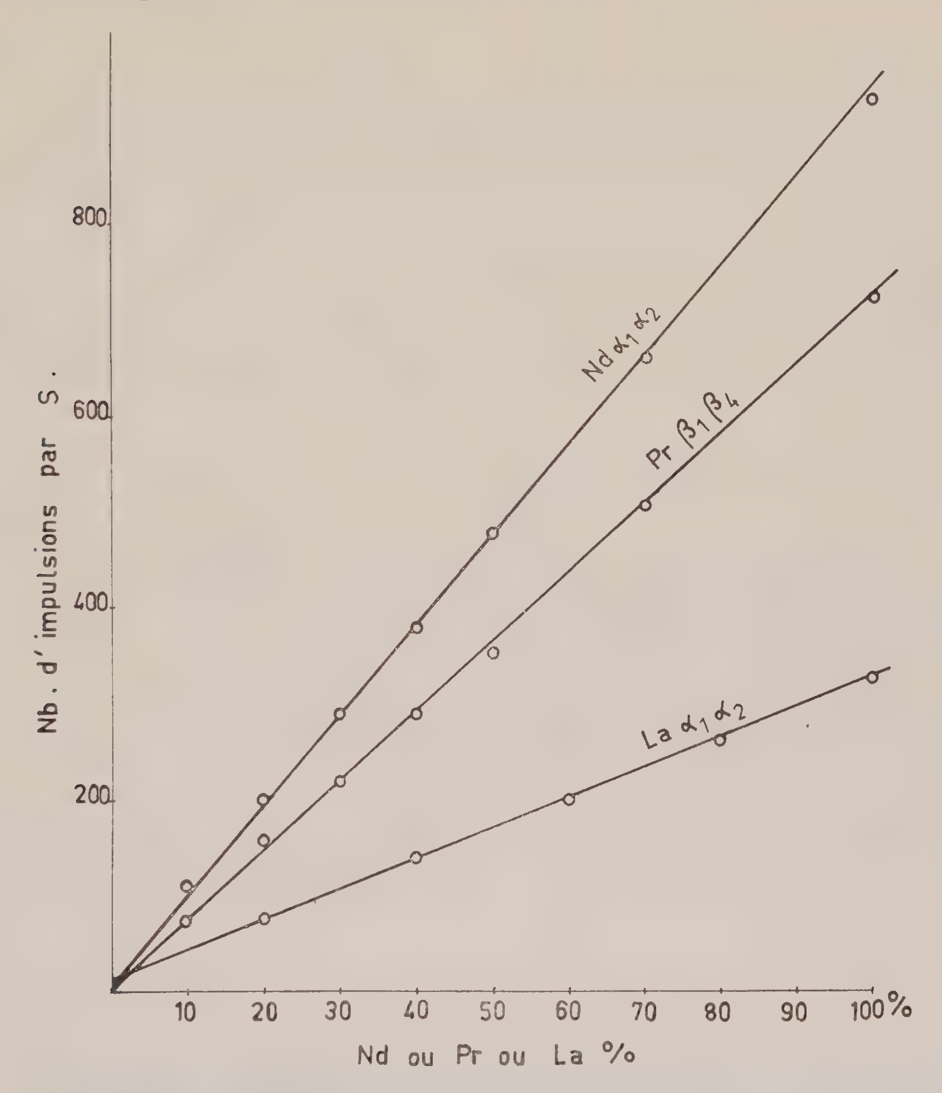
Notre travail a porté sur le dosage des terres cériques : lanthane, praséodyme, néodyme. Le cérium ne figure pas dans ces mélanges car il peut être séparé totalement, sans recourir aux échanges d'ions, par précipitation sélective après passage à la valence 4. La fluorescence des rayons X permet une estimation quantitative suffisamment précise et très rapide des éléments présents dans la solution et ne nécessite aucune opération chimique. L'emploi des solutions présente des avantages et des inconvénients. Ces derniers dérivent du fond continu de diffusion dont il faut tenir compte avec soin car il limite la précision et la sensibilité de la méthode. Mais, dans le cas proposé, les proportions relatives des divers éléments varient entre 0 et 100 % et la quantité totale de ces éléments, estimés à l'état de sesquioxydes, est de l'ordre de 10 g/l. 10 ml de solution sont seulement nécessaires alors que les colonnes ont des capacités de plusieurs dizaines de litres.

L'élimination des facteurs de granulométrie, d'homogénéité de l'échantillon, la possibilité de confectionner et conserver des étalons standards précis et reproductibles, constituent des avantages importants. Les faibles concentrations impliquent un éloignement réciproque des atomes actifs, dilués dans un milieu composé d'éléments légers (solutions nitriques), suffisamment grand pour que les interactions soient négligeables.

Le choix des raies de fluorescence à utiliser dans le cas des terres rares obéit à deux considérations : utiliser des raies L suffisamment intenses, puis éviter toute superposition même partielle de ces raies entre elles ou avec les raies du W ou autres raies étrangères provenant de l'appareillage.

L'emploi d'un cristal analyseur de fluorure de lithium allie une dispersion

suffisante à un bon pouvoir réflecteur. Les raies à retenir sont $L_{\alpha_1\alpha_2}$ et $L_{\beta_1\beta_4}$; il n'y a aucun intérêt à dissocier ces composantes très rapprochées dans le spectre; mais une étude préliminaire doit en faire connaître le profil avec précision.



L'observation des spectres révèle que pour les terres rares :

a. la raie L_{β_2} d'un élément de nombre atomique Z est très proche de la raie L_{β_3} de l'élément (Z + 1);

b. les raies $L_{\beta_1\beta_4}$ d'un élément Z sont très voisines de $L_{\alpha_1\alpha_2}$ de l'élément (Z + 3);

c. les raies $L_{\beta_3\beta_4}$ d'un élément Z sont parfois superposées à la raie L_{γ_1} de l'élément (Z — 4).

Pour les premières terres cériques : lanthane, praséodyme, néodyme, rien ne s'oppose au choix de $L_{\alpha_1\alpha_2}$ pour la lanthane, de $L_{\beta_1\beta_4}$ pour le praséodyme et de $L_{\alpha_1\alpha_2}$ pour le néodyme.

Nous avons d'abord vérifié la linéarité des courbes d'étalonnage obtenues avec chaque élément; puis les mélanges binaires La-Pr, La-Nd, Pr-Nd ont montré également des points qui s'alignent parfaitement. Enfin, nous avons réalisé des mélanges ternaires. Avec des variations de chaque constituant de 10 en 10 % le nombre total des mélanges standard s'élève à 36. Une quinzaine de mélanges ont servi à tracer les droites réunies sur la figure. Les points expérimentaux correspondent à des matrices de dilution très variées. Pour le lanthane, la droite ne passe pas tout à fait par l'origine, conséquence de la difficulté de la détermination du profil du fond de diffusion perturbé par la raie L_{β_1} ($n = 2$) du tungstène. La longueur d'onde 2,165 Å de L_{α_1} explique sa faible intensité. Une amélioration serait obtenue avec une excitation plus intense. Le samarium présent en petite quantité peut être estimé au moyen de sa raie $L_{\beta_1\beta_1}$ qui ne peut être gênée que par la raie $L_{\alpha_1\alpha_2}$ du terbium, élément pratiquement absent des colonnes à ce stade des séparations. La précision peut atteindre 1 % en valeur absolue.

La méthode de fluorescence X permet donc le dosage quasi simultané des trois terres cériques : lanthane, praséodyme, néodyme, alors qu'il est habituellement nécessaire de doser le premier par spectrométrie de flamme et les deux autres par spectrophotométrie d'absorption, méthodes d'application laborieuse qui demandent la préparation de solutions de concentrations déterminées.

Nous nous proposons de poursuivre la mise au point de cette méthode pour les autres éléments de la série des terres rares.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(*Laboratoire des Terres rares du C. N. R. S.,*
Laboratoire des Rayons X du C. N. R. S.)

CHIMIE MINÉRALE. — *Préparation de ferrites par oxydation anodique d'alliages en milieu aqueux.* Note de MM. **Hubert Forestier** et **Jean-Camille Petit**, transmise par M. Georges Chaudron.

Les propriétés magnétiques des ferrites dépendant dans une large mesure de leur mode de préparation, nous avons tenté de les obtenir dès la température ambiante. Nous avons réussi à préparer la magnétite, et les ferrites de nickel, de cobalt et de manganèse par oxydation anodique du fer et des alliages Fe-Ni, Fe-Co et Fe-Mn, en milieu neutre.

Il existe de nombreuses méthodes de préparation des ferrites à haute température (1), (2), (3), mais on peut également les obtenir à température plus basse. H. Forestier et J. Longuet ont montré qu'on pouvait obtenir certains d'entre eux en milieu aqueux, à des températures comprises entre 70 et 100° C (4).

Il était intéressant de chercher à obtenir des ferrites à la température ambiante par une voie nouvelle par oxydation anodique du fer et de ses alliages, en milieu aqueux.

Nous avons préparé des ferrites par oxydation anodique d'alliages à la température ambiante, dans une solution de chlorure de sodium N/10 de pH 7. Le fer ou l'alliage sont utilisés comme anode, une feuille de platine comme cathode. Après quelques heures d'électrolyse sous une densité de courant de 0,015 A/cm^2 et une différence de potentiel de 10 V, nous obtenons des dépôts ferromagnétiques que nous filtrons, lavons et séchons, sous vide, en présence de P_2O_5. Nous avons oxydé ainsi : du fer « Armco », un alliage Fe-Ni, à 33 % de nickel, un alliage Fe-Co à 36 % de cobalt et un alliage Fe-Mn à 33 % de manganèse. Les produits obtenus ont été étudiés par deux méthodes :

1° *Diffraction des rayons X.* — Nos clichés (*fig.* 1) ont été effectués à l'aide d'une chambre multiple de Wolff (5), associée à un monochromateur

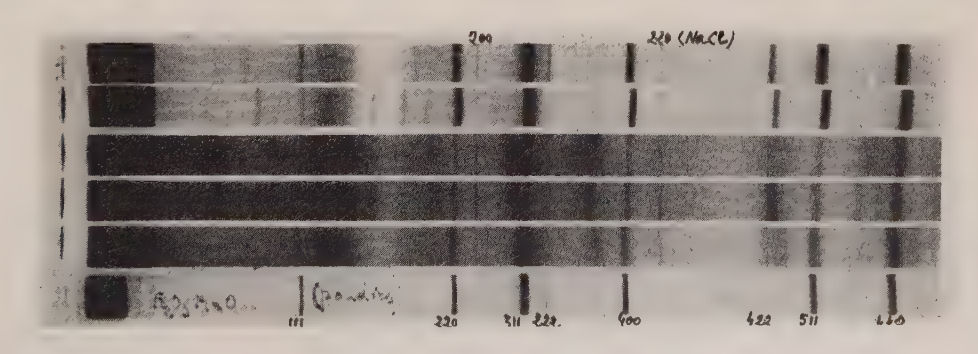


Fig. 1.

(*a*) produit d'oxydation anodique du fer; (*b*) id. recuit à 300°; (*c*) id. Fe-Ni; (*d*) id. Fe-Co; (*e*) id. Fe-Mn; (*f*) ferrite de manganèse recuit à 1200° C.

Guinier (rayonnement K_α du fer). Les diagrammes présentent les raies caractéristiques d'une structure du type spinelle. Les mailles correspondent respectivement à celles des ferrites préparés à haute température. Dans le cas de l'oxydation anodique de l'alliage Fe-Co, on observe des raies supplémentaires qui correspondent à un hydroxyde. Pour l'alliage Fe-Mn, on observe à côté du ferrite la présence d'un hydrate du type δ-FeOOH, mis en évidence par quatre raies analogues à celles que W. Feitknecht avait déjà signalées ([6]).

L'analyse chimique montre que ces ferrites correspondent à la composition équimoléculaire Fe_2O_3, MO.

2° *Analyse thermomagnétique* (*fig.* 2). — L'analyse thermomagnétique a été faite en ampoule scellée sous vide. Nous avons obtenu respectivement

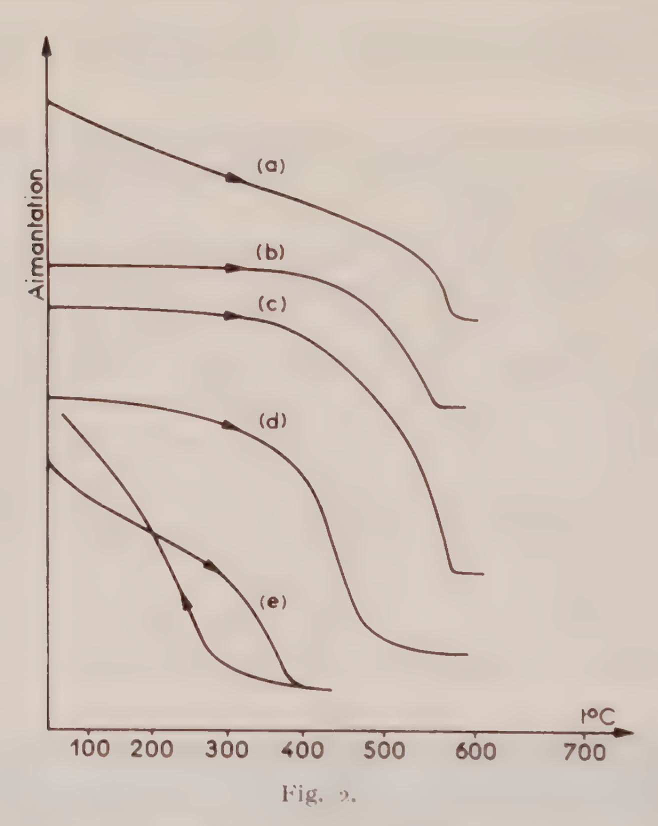


Fig. 2.

(*a*) produit d'oxydation anodique du fer; (*b*) id. recuit à 300° C; (*c*) Fe-Ni; (*d*) Fe-Co; (*e*) Fe-Mn.

un point de Curie à 575° C pour le produit d'oxydation de l'anode en fer pur (*a*), à 590° C pour l'alliage Fe-Ni (*c*), à 520° C pour l'alliage Fe-Co (*d*) et à 300° C pour l'alliage Fe-Mn (*e*). Ces températures correspondent, respectivement, aux points de Curie de la magnétite, du ferrite de nickel, du ferrite de cobalt et du ferrite de manganèse.

La courbe (*b*) représente l'analyse thermomagnétique du sesquioxyde

de fer cubique obtenu par oxydation à l'air à 300° C de la magnétite préparée par oxydation anodique ($a = 8,345$, $c/a = 3$).

On remarque, d'autre part, que la courbe (*e*) n'est pas réversible. Le point de Curie est plus élevé à l'aller qu'au retour (300°). Toutefois, en effectuant un deuxième cycle avec le même échantillon, le point de Curie est réversible à 300°. Ce phénomène que nous n'avons pu expliquer a été déjà observé avec le ferrite de manganèse obtenu dans l'eau à l'ébullition.

D'une manière générale, les ferrites obtenus se présentent sous la forme de cristaux dont la dimension peut atteindre un micron. Ces résultats mettent bien en évidence la préparation des ferrites de fer, de nickel, de cobalt et de manganèse à la température ambiante, par oxydation anodique des alliages correspondants. Ils ouvrent la voie à une nouvelle méthode d'obtention directe d'oxydes mixtes tels que les ferrites dès la température ambiante.

Cette étude effectuée dans des conditions différentes de pH et de densité de courant sera développée dans des publications ultérieures.

(1) H. Forestier, *Thèse*, Paris, 1928.
(2) G. Economos, *J. Amer. Cer. Soc.*, 38, 1955, p. 241-244.
(3) Ch. Deportes, *Thèse*, Grenoble, 1958.
(4) Mlle J. Longuet, *Thèse*, Strasbourg, 1943.
(5) P. M. Wolff, *Acta Cryst.*, 1, 1948, p. 207-211.
(6) W. Feitknecht, *Z. Electrochemie*, 63, 1959, p. 34-43.

(*Faculté des Sciences de Strasbourg, Laboratoire de Chimie générale.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Hydrogénolyse des α-aminonitriles par action des organomagnésiens secondaires et tertiaires.* Note (*) de MM. **Jean Sansoulet**, **Christian Tacka** et **Zoltan Welvart**, présentée par M. Marcel Delépine.

Par action des organomagnésiens encombrants les α-aminonitriles peuvent donner des réactions nouvelles : coupure hydrogénolytique du CN quand le C_α est secondaire ou tertiaire, dimérisation quand le C_α est primaire.

L'étude de la compétition entre les deux réactions *a* et *b* ayant lieu entre les α-aminonitriles (I) et les organomagnésiens, a fait admettre à l'un de nous que la réaction de coupure *b* s'effectue par l'intermédiaire d'un ion immonium (II) (1), (2).

$$\underset{\text{(IV)}}{(R')_2N{-}C(R'')(R'''){-}COR} \xleftarrow{\ a\ } \underset{\text{(I)}}{(R')_2N{-}C(R'')(R'''){-}CN} + RMgX$$

$$\downarrow$$

$$\underset{\text{(III)}}{(R')_2N{-}C(R)(R'')(R''')} \xleftarrow{\ b\ } \underset{\text{(II)}}{\left[(R')_2N{=}C(R'')(R''')\right]^{+}} \xrightarrow{\ c\ } \underset{\text{(III')}}{(R')_2N{-}C(R'')(R'''){-}H}$$

	$(R')_2$.	R''.	R'''.
A......	$(CH_2)_5$	—$(CH_2)_5$—	
B......	$(C_2H_5)_2$	$(CH_2)_5$	
C......	$(C_2H_5)_2$	H	C_6H_5
D......	$(CH_3)_2$	CH_3	C_6H_5
E......	$(CH_2)_5$	CH_3	C_4H_9 (iso)
F......	$(CH_3)_2$	—$(CH_2)_5$—	
G......	$(C_2H_5)_2$	H	H

Partant de cette hypothèse, il nous a semblé intéressant de poursuivre cette étude en employant des organomagnésiens encombrants, tels que le chlorure de cyclohexyl et le chlorure de *t*-butylmagnésium. Nous avons choisi ces réactifs, car il est bien connu qu'ils réduisent souvent les composés carbonylés. Or, l'analogie entre la réactivité des ions immonium et celle des cétones et des aldéhydes est déjà établie (3); on pouvait s'attendre par conséquent à ce que les ions immonium, s'ils se forment intermédiairement, soient également réduits. Le résultat global de la réaction peut donc être l'hydrogénolyse du CN (réaction *c*).

Nos résultats confirment ces prévisions, et montrent que l'hydrogénolyse peut avoir lieu avec les α-aminonitriles de structure variée (4) :

L'hydrogénolyse est exclusive aussi bien par action de $C_6H_{11}MgCl$ que par celle de *t*-BuMgCl avec les composés (I-A) et (I-B). Par contre, elle

accompagne seulement la réaction de substitution *b* quand on fait agir $C_6H_{11}MgCl$ sur (I-C).

Cependant nous avons constaté au cours de ce travail que l'action de ces réactifs ne transforme pas toujours les α-aminonitriles en produits (III) ou (III').

En effet, divers α-aminonitriles (I-D, E, F), après une réaction fortement exothermique avec le réactif de Grignard, forment un complexe insoluble dont la décomposition conduit principalement à l'aminonitrile initial, mélangé à l'énamine correspondante et à ses produits d'hydrolyse [5]. Ce comportement de ces aminonitriles ne doit pas être attribué à l'encombrement du réactif de Grignard, mais surtout à leur propre structure. Ceci découle de la différence considérable entre le comportement du (N-pipéridino)-1 cyano-1 cyclohexane (I-A) et celui du (N-pipéridino)-1 cyano-1 cyclopentane (I-F) : ce dernier ne donne aucun produit de réaction du type (III) même avec C_6H_5MgBr, quel que soit le solvant (éther, tétrahydrofurane, anisole) et la température de la réaction (0 à 100°).

De plus, l'α-aminonitrile ayant un C_α primaire (I-G) ne subit pas non plus les réactions *b* ou *c*. L'action de $C_6H_{11}MgCl$ conduit à une cétone (IV) par la réaction de Blaise *a*, accompagnée d'un dimère de l'α-aminonitrile de départ, tandis que le *t*-BuMgCl engendre uniquement le dimère. Cette réaction qui est due à l'acidité des hydrogènes du C_α est connue depuis longtemps pour les nitriles non substitués [6].

Si la réaction d'hydrogénolyse cadre bien avec la formation intermédiaire d'un ion immonium, elle ne la démontre pas avec certitude. Le fait que les réactions *b* et *c* sont connues également pour certains α-aminoéthers [7] permet d'envisager l'étude de leur compétition dans le cas des pseudo-bases diverses $>N—\overset{|}{\underset{|}{C}}—Y$. Si en changeant Y (OR, CN, etc.) on ne modifie pas la proportion des produits finaux, cela signifiera que la réaction s'effectue avec une dissociation préalable, et par conséquent avec formation de l'ion immonium [8].

Partie expérimentale. — L'aminonitrile (1 mol) dissous dans l'éther, est versé dans la solution éthérée de l'organomagnésien (1,5 mol) refroidie à 0°. Après un repos de 24 h, le mélange réactionnel est décomposé et les produits aminés purifiés comme d'habitude. Les α-aminonitriles et leurs produits d'hydrogénolyse ont été déjà décrits [2]. Les nouveaux produits sont : III-C ($R = C_6H_{11}$) $É_{1,8}$ 140°; n_D^{25} 1,5169. P. M. trouvé par acidimétrie ($HClO_4$ dans CH_3COOH) : 248; calculé pour $C_{17}H_{27}N$: 245,4. IV-G ($R = C_6H_{11}$); $É_{0,4}$ 100°; n_D^{25} 1,4628; P. M. trouvé par acidimétrie ($HClO_4$ dans CH_3COOH) : 200, calculé pour $C_{12}H_{23}NO$: 197,3. *Dimère :* $É_1$ 135°; n_D^{25} 1,4912; P. M. trouvé par cryoscopie dans le benzène 214,9, calculé pour $C_{12}H_{24}N_4$: 224,3. *Dichlorhydrate :* F 190° (bloc) Cl % trouvé 23,82; calculé pour $C_{12}H_{24}N_4$, 2 HCl : 23,85.

(1) Il est probable que même si, dans certains cas, l'ion immonium intermédiaire ne se forme pas, l'état de transition de la formation des produits du type (III) doit ressembler à un tel ion.

(2) Z. WELVART, *Thèse*, Paris, 1956; *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1870.

(3) N. J. LEONARD et A. S. HAY, *J. Amer. Chem. Soc.*, 78, 1956, p. 1984.

(4) Dans un travail qui vient de paraître, H. M. Taylor et C. R. Hauser (*J. Amer. Chem. Soc.*, 82, 1960, p. 1960) montrent que les α-aminonitriles α-phénylés subissent également l'hydrogénolyse par action de *i*-PrMgBr et *t*-BuMgCl.

(5) Nous n'avons pas déterminé exactement le mode de formation de l'énamine et de ses produits d'hydrolyse. Ces produits peuvent se former après la réaction lors de la séparation des produits aminés par un acide aqueux. Mais l'énamine peut se former aussi au cours de la réaction de l'aminonitrile avec le réactif de Grignard. Cette dernière voie serait en accord avec la formation intermédiaire des ions immonium, car il est connu que ces derniers, par action des réactifs de Grignard, conduisent souvent aux énamines (3).

(6) P. BRUYLANTS, *Ann. Soc. Sc. Bruxelles*, 46, 1926, p. 108.

(7) A. T. STEWART et C. R. HAUSER, *J. Amer. Chem. Soc.*, 77, 1955, p. 1098.

(8) D'ailleurs, dans certains cas, il est même possible d'isoler les ions immonium à l'état de perchlorate et de comparer ainsi leur réactivité avec celle des pseudobases correspondantes.

(*Laboratoire du C. N. R. S.,*
25, boulevard Saint-Jacques, Paris, 14e.)

(*) Séance du 20 juin 1960.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Remarques sur la préparation et l'absorption dans l'ultraviolet moyen des N-acylcarbazoles et de leurs dérivés hydrogénés.* Note (*) de M. **Panos Grammaticakis**, présentée par M. Marcel Delépine.

Tandis que la N-acylation des carbazole et hexahydrocarbazole produit, comme pour les arylamines, un effet hypsochrome, celle du tétrahydrocarbazole et des C-alcoyl-indoles se traduit, comme pour certains hétérocycles azotés, par un effet bathochrome, en accord avec les différences dans le comportement de ces substances envers la N-acylation.

Au cours de recherches chimiques et physiques systématiques sur les composés hétérocycliques et leurs dérivés hydrogénés, j'ai été conduit à étudier l'absorption dans l'ultraviolet moyen et le visible des composés carbazoliques du type (A) et de leurs dérivés hydrogénés (A') et (A'')

(A) (A') (A'')

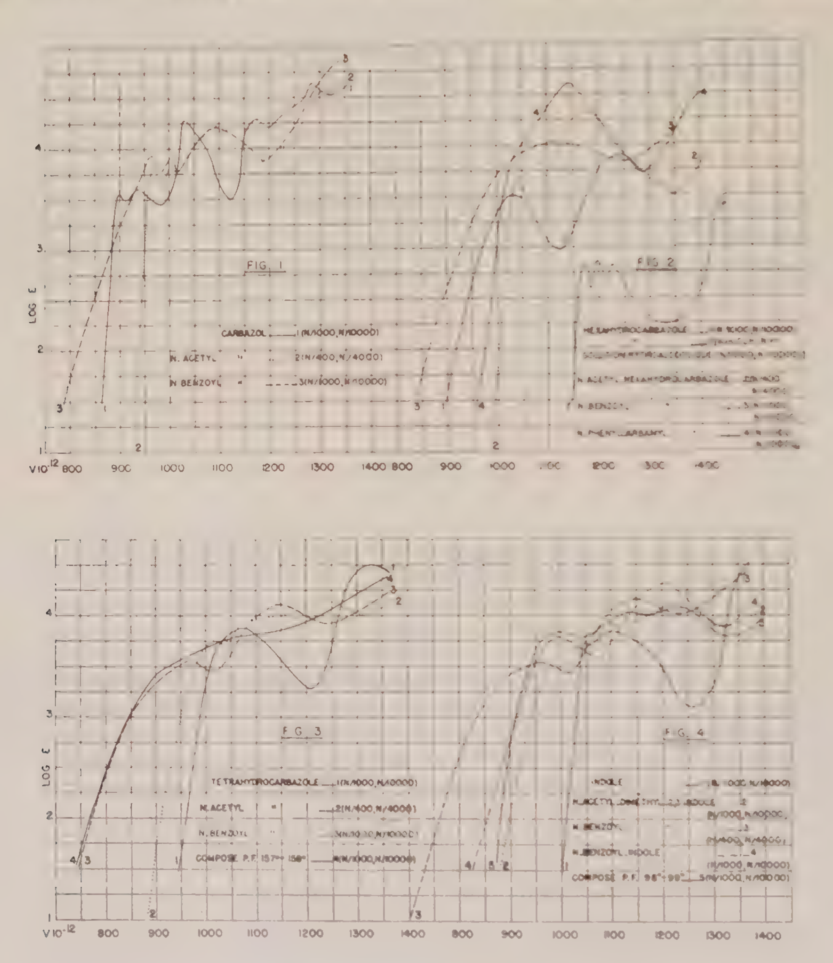
(où X = H, alcoyle, aryle, COR, COOR, NO_2, SO_3H, OH, SH, NH_2, NH.OH, NH.NH_2 et les dérivés fonctionnels de ces groupements; R = H, alcoyle, aryle, acyle).

La présente Note contient quelques résultats concernant l'absorption [1] des composés suivants (X = H; R = H, CH_3.CO, C_6H_5.CO) : *carbazole* et ses dérivés N-*acétylé* [F 79°; aig. [2] dans l'éther] et N-*benzoylé* (F 99°; aig. dans l'éther), *tétrahydrocarbazole* et ses dérivés N-*acétylé* (F 78°; prismes dans l'éther) et N-*benzoylé* (F 87°; aig. dans le CH_3OH), *hexahydrocarbazole* [3] (F 97°; aig. dans l'éther + éther de pétrole) et ses dérivés N-*acétylé* (F 101°; aig. dans l'éther + éther de pétrole), N-*benzoylé* (F 107°; aig. dans l'éther + éther de pétrole) et N-*phénylcarbamylé* (F 190°; aig. dans l'alcool) ainsi que l'absorption de : *indole*, N-*benzoyl-indole* (F 69° prismes dans l'éther + éther de pétrole) et *diméthyl*-2.3 *indole* et ses dérivés N-*acétylé* (F 75°; aig. dans l'éther+éther de pétrole) et N-*benzoylé* (F 103°; feuillets verdâtres dans le CH_3OH).

Les N-acylcarbazoles et N-acyl-hexahydrocarbazoles ont été obtenus suivant les méthodes habituelles de la N-acylation de la diphénylamine et de l'aniline (Rdt quantitatif).

Les dérivés N-acylés du tétrahydrocarbazole, comme ceux de l'indole et du diméthyl-2.3 indole, ont été préparés, par suite de la plus grande labilité du noyau pyrrolique dans ces composés que dans le carbazole, entre autres méthodes [4], suivant le procédé classique, en faisant agir l'acétate d'éthyle et le benzoate d'éthyle (ainsi que le Cl.CO.C_6H_5 dans

le cas du tétrahydrocarbazole) sur les azotomagnésiens de ces substances (Rdt > 80 %). En plus, il est à noter que, à cause de la labilité du noyau pyrrolique de ces composés, on peut, suivant les conditions expérimentales, obtenir, au lieu des dérivés N-acylés, des dérivés C-acylés et C- et N-diacylés. Ainsi, on peut obtenir, à côté des N-acyldérivés, par action de l'acétate d'éthyle sur le magnésylindole un diacétylindole (F 88-89°; prismes dans



l'éther + éther de pétrole), probablement le diacétyl-1.3 indole, et par action du chlorure de benzoyle sur le tétrahydrocarbazole un dibenzoyltétrahydrocarbazole (F 157-158°; prismes dans l'éther), probablement le dérivé N-benzoylé du benzoyl-11 tétrahydro-2.3.4.11 carbazole ([4]).

L'examen des courbes d'absorption de ces substances montre que :

1° Le spectre d'absorption du carbazole (*fig.* 1) se compose de trois systèmes de bandes A ($\nu . 10^{-12} \sim 900$), B ($\nu . 10^{-12} \sim 1\,030$) et C ($\nu . 10^{-12} \sim 1\,250$), en accord avec ce qu'on pourrait prévoir d'après les relations spectrales entre les composés iso- et hétéro-cycliques d'une part, et d'après celles entre la diphénylamine et ses dérivés hétérocycliques (acridine, etc.) d'autre part; la fréquence du maximum de la bande B du carbazole est

voisine de celle du maximum de la bande principale de la diphénylamine. La structure des spectres du tétrahydrocarbazole (*fig.* 3) et de l'hexahydrocarbazole (*fig.* 2) est respectivement identique à celle de l'indole (*fig.* 4) et de l'aniline. Étant donné les relations spectrales entre l'indole et l'aniline [5], on peut, dans une certaine mesure, admettre que le tétrahydro- et l'hexahydro-carbazole possèdent une structure spectrale fondamentale voisine.

2° Les principales relations spectrales qualitatives entre le carbazole et l'hexahydrocarbazole et leurs dérivés N-acylés se rapprochent de celles constatées entre l'aniline et ses dérivés N-acylés correspondants (effet hypsochrome de la N-acétylation, etc.) (*fig.* 1 et 2). Il est à noter que les absorptions de l'hexahydrocarbazole et de ses dérivés N-acylés sont voisines de celles de l'aniline et de ses dérivés N-acylés correspondants, contrairement à ce qu'on pourrait prévoir d'après l'effet spectral de la N-acylation des N-alcoylanilines orthosubstituées (absence d' « effet stérique »).

3° Mais, les principales relations spectrales qualitatives entre le tétrahydrocarbazole, l'indole et le diméthyl-2.3 indole et de leurs dérivés N-acylés sont très différentes et, dans une certaine mesure, contraires à celles constatées pour les arylamines et leurs dérivés N-acylés (*fig.* 3 et 4). Ainsi la N-acylation de ces composés indoliques produit un déplacement des principales bandes d'absorption vers les grandes longueurs d'onde (effet bathochrome, etc.), en accord avec ce qu'on constate pour la N-acylation d'autres hétérocycles azotés. Notons que l'absorption du tétrahydrocarbazole et du diméthyl-2.3 indole [6] sont, comme il était à prévoir, très voisines; il en est de même pour leurs dérivés N-acylés correspondants.

4° L'absorption des carbazole, tétrahydrocarbazole et indole (et C-alcoylindoles) dans l'alcool chlorhydrique aqueux (N-5 N) est, comme il était à pressentir, sensiblement identique à celle dans l'alcool à 95 %, contrairement à ce qu'on observe pour l'hexahydrocarbazole (*fig.* 4). Le comportement spectral de cette dernière substance en fonction du pH du milieu est identique à celui de l'aniline.

Enfin, il est à remarquer qu'à la différence des effets spectraux de la N-acylation des substances étudiées ici correspond une différence de leur comportement envers la N-acylation.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) Les mesures d'absorption des substances étudiées ont été effectuées sur leurs solutions dans l'alcool à 95 % et dans le cyclohexane. Les absorptions dans ces deux solvants étant voisines je ne donne, dans la présente Note, que celles dans l'alcool à 95 %.

(2) Toutes les substances étudiées ici sont incolores, sauf mention explicite du contraire. Leur analyse élémentaire (C, H, O, N) est en accord parfait avec leur formule élémentaire.

(3) Cis-hexahydrocarbazole suivant W. H. PERKIN et coll., *J. Chem. Soc.*, 1927, p. 2676.

(4) L'étude extensive de ces méthodes et de la structure des composés obtenus sera exposée dans un Mémoire ultérieur.

(5) *Praktika* de l'Académie d'Athènes, 1940, p. 462.

(6) *Comptes rendus*, 210, 1940, p. 569.

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur l'alcoolyse des alcoxydes de l'étain, du titane et de l'antimoine.* Note (*) de MM. **Antonin Deluzarche**, **Lucien Golder** et **Jean-Claude Maire**, présentée par M. Marcel Delépine.

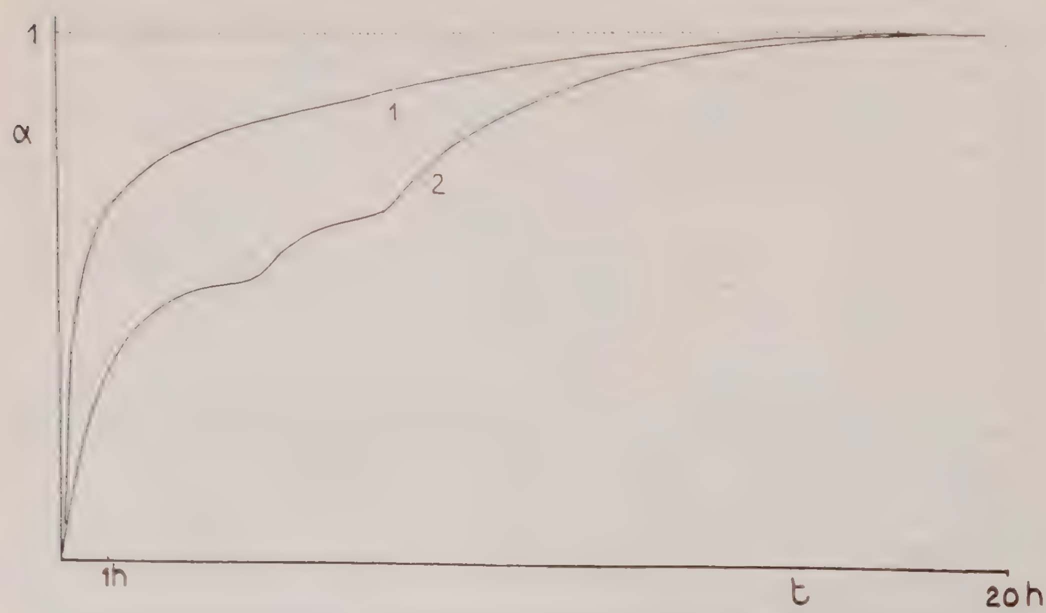
Dans le cadre des travaux effectués, au laboratoire de Chimie organique appliquée de l'Institut de Chimie de Strasbourg, dans le domaine des alcoxydes métalliques, il nous a paru intéressant d'approfondir l'étude de la réaction d'alcoolyse, qui avait été largement utilisée dans un but préparatif.

Notre attention s'est portée sur les alcoxydes du titane obtenus par Deluzarche ([1]), de l'étain obtenus par Maire ([3]), et de l'antimoine, dont la plupart étaient connus depuis les travaux d'Arbuzov ([2]). Nous nous sommes proposés d'étudier la réaction d'alcoolyse de ces trois types d'alcoxydes, par les mêmes alcools et dans des conditions analogues, dans le but de voir s'il était possible de mettre en évidence la formation de produits intermédiaires, suivant des réactions du type :

$$M(OR)_n + n\,R'OH = M(OR')_x(OR)_{n-x} + x\,ROH + (n-x)\,R'OH.$$

Où x pourrait dépendre des conditions de la réaction : proportions, température, et éventuellement catalyseur.

Les produits de départ étaient : l'orthotitanate d'éthyle, l'orthostannate d'éthyle sous forme de dialcoolate, et l'orthoantimonite d'éthyle. Nous avons étudié l'alcoolyse par le n-hexanol, le cyclohexanol et le phénol.



Degré d'avancement, en fonction du temps, de l'alcoolyse de $Sb(OEt)_3$ par le cyclohexanol à 140° (1) et à 120, 130, puis 140° C (2).

Tous ces produits ont des températures d'ébullition suffisamment élevées pour que l'élimination de l'alcool éthylique libéré soit facile. On peut suivre l'avancement de la réaction en recueillant l'alcool libéré dans un récepteur gradué et en étudiant le volume d'alcool recueilli en fonction du temps à température constante. Dans le cas où l'on utilise un excès d'alcool à substituer et où l'on opère à température élevée, on prélève les fractions recueillies et on les analyse par chromatographie en phase vapeur.

L'opération était conduite de la manière suivante : on introduit les réactifs (dans des proportions telles que l'excès de l'alcool à substituer soit de 10 % par rapport à l'alcoxyde de départ) dans un petit ballon muni d'un réfrigérant latéral, débouchant dans un récepteur gradué, refroidi lui-même par une circulation d'eau. On plonge le ballon dans un bain d'huile maintenu automatiquement à une température constante et l'on étudie la courbe : volume d'alcool libéré en fonction du temps; les résultats obtenus entraînent les conclusions suivantes :

— les alcoxydes de l'étain et de l'antimoine se comportent de la même manière : l'allure des courbes, qui ne comportent pas de palier, montre qu'il ne se forme pas de composés intermédiaires. Si la température à laquelle on opère est trop basse, on peut observer des paliers correspondant à une réaction partielle, mais ceux-ci correspondent à des degrés d'avancement quelconques, et dépendent tout simplement de la température;

— la réaction, rapide au début, devient de plus en plus lente à mesure qu'elle avance, mais à 120°, au bout d'un temps de l'ordre de 20 h, elle est totale;

— les alcoxydes du titane se distinguent des précédents : même à 140°, au bout de 48 h, la réaction n'est pas totale. Cette réaction permettant néanmoins de préparer les alcoxydes supérieurs du titane, il est probable que la réaction s'achève lors de la distillation;

— l'addition du chlorure métallique correspondant comme catalyseur, ne modifie en rien la réaction;

— la vitesse de réaction augmente dans l'ordre : phénol, cyclohexanol, *n*-hexanol;

— pour un alcool à substituer donné, la vitesse de réaction est sensiblement la même pour les trois alcoxydes, quoiqu'elle soit légèrement supérieure dans le cas de l'antimoine. Des essais ont également été faits dans le cas de l'antimoine avec le *n*-heptanol, et dans le cas de l'étain avec le *n*-heptanol et le *n*-octanol; ils confirment les résultats ci-dessus et feront l'objet d'une prochaine publication.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) A. DELUZARCHE, *Thèse*, Strasbourg, 1954.

(2) R. A. ARBUZOW, *Bull. Acad. Sc. U. R. S. S.*, 1955, p. 385.

(3) J. CL. MAIRE, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 1359.

(*Institut de Chimie de Strasbourg.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Sur l'obtention d'α-aminocétones et leur désamination nitreuse.* Note de MM. **Robert Granger**, **Henri Techer** et **Alfred Massiau**, présentée par M. Marcel Delépine.

Les α-aminocétones sont préparées selon deux voies par l'intermédiaire d'oxazolones. Le carbonium formé par désamination nitreuse conduit par transposition moléculaire à la formation d'un acide, ou par élimination d'un proton, à une cétone éthylénique.

La présente Note a pour objet de faire connaître de nouveaux procédés d'obtention d'α-aminocétones et d'examiner les réactions auxquelles donne lieu leur désamination nitreuse.

1. *Obtention des α-aminocétones.* — Celle-ci a été réalisée par les deux méthodes suivantes :

1° Les cétones, traitées par le cyanure de potassium et le chlorure d'ammonium, en milieu hydroalcoolique ammoniacal, conduisent à des α-aminonitriles ([1]). Ceux-ci, en solution éthérée, par action de l'anhydride acétique ou le chlorure de benzoyle en présence de bicarbonate de sodium, sont transformés en α-acylaminonitriles (I).

Les acylaminonitriles sont hydratés sélectivement, par l'acide chlorhydrique pur à froid, en α-acylaminoacides (II). Ces composés, par chauffage avec l'anhydride acétique, sont cyclisés en oxazolones (III).

Ces oxazolones réagissent alors, à la température ordinaire, avec le malonate d'éthyle sodé en solution dans le benzène-toluène, et conduisent, soit à un acylmalonate d'éthyle (IV), soit à une dioxo-2.4 pyrrolidine (V).

Ces derniers permettent, par hydrolyse, d'atteindre les chlorhydrates d'α-aminocétones (VI).

R\ C=O → R\ C / CN ; R / NH.CO.R' (I) → R\ C / COOH ; R / NH.CO.R' (II)

→ R\ C / CO—O ; R / N=C—R' (III) → R\ C / CO—CH(COOC₂H₅)₂ ; R / NH.CO.R' (IV)

ou

R\ C / CO—CH—COOC₂H₅ ; R / N—CO ; CO—R' (V) → R\ C / CO—CH₃ ; R / NH₂, HCl (VI)

Ainsi donc, en partant de l'acétone (R = CH_3) et du chlorure de benzoyle (R' = C_6H_5), on obtient successivement les composés : benzoylamino-2 méthyl-2 propanenitrile (I) F 168° ([2]), Rdt 66 % ; acide benzoylamino-2

méthyl-2 propionique (II) F 200° ([3]), Rdt 97 %; diméthyl-4.4 phényl-2 oxazolone (III) F 45°, $É_{18}$ 136° ([3]), Rdt 95 %; benzoyl-1 diméthyl-5.5 dioxo-2.4 pyrrolidinecarboxylate-3 d'éthyle (V) F 110° ([4]), Rdt 90 %, amino-3 méthyl-3 butanone-2 (VI), chlorhydrate F 211° ([5]).

De la même manière, la cyclohexanone et l'anhydride acétique ($R' = CH_3$), permettent d'atteindre une série de dérivés cycliques analogues : acétylamino-1 cyano-1 cyclohexane (I) F 91° ([6]), Rdt 90 %; acide acétylamino-1 cyclohexane-carboxylique (II) F 198°, Rdt 85 %; méthyl-2 oxa-3 spiro-(4.5) décène-1 (III) F 45°, $É_{20}$ 110°, Rdt 95 %; acétylamino-1 cyclohexanecarbonylmalonate d'éthyle-1 (IV) F 93°, Rdt 73 %; amino-1 éthylone-1 cyclohexane (VI), chlorhydrate F 255° ([7]).

2° L'action ménagée des organomagnésiens sur les oxazolones donne accès aux α-acylaminocétones. Ainsi, l'addition inverse à —20°, d'iodure de méthylmagnésium à la diméthyl-4.4 phényl-2 oxazolone (VII) conduit à la benzoylamino-3 méthyl-3 butanone-2 (VIII; $R = CH_3$) F 125° ([5]) et le bromure d'éthylmagnésium donne la benzoylamino-2 méthyl-2 pentanone-3 (VIII; $R = C_2H_5$) F 118° ([4]).

$$(CH_3)_2C\begin{matrix}\diagup CO-O \\ \diagdown N{=}C-C_6H_5\end{matrix} \;(VII) \rightarrow (CH_3)_2C\begin{matrix}\diagup CO-R \\ \diagdown NH.CO.C_6H_5\end{matrix} \;(VIII)$$

Par contre, avec le bromure de phénylmagnésium, on n'isole que le benzoylamino-2 diphényl-1.1 méthyl-2 propanol-1 F 177° ([8]).

2. *Action de l'acide nitreux sur les α-aminocétones.* — Les sels des α-aminocétones, en solution légèrement chlorhydrique sont traités par une solution aqueuse de nitrite de sodium; les produits de la réaction sont isolés après 24 h.

L'amino-3 méthyl-3 butanone-2 donne lieu, avec un taux de 15 %, à l'acide diméthyl-2.2 propionique par migration du radical méthyle.

$$(CH_3)_2C(NH_2)-CO-CH_3 \rightarrow (CH_3)_3C-CO_2H$$

De la même manière, l'amino-2 cyclohexanone, préparé selon D. Y. Curtin et S. Schmukler ([9]), subit une transposition moléculaire avec raccourcissement de cycle, conduisant à l'acide cyclopentane-carboxylique, avec un Rdt de 40 %. Cette réaction que nous avions signalée en 1958 ([10]) a été également observée l'année suivante par O. E. Edwards et M. Lesage qui l'ont notée aussi avec le dérivé diméthylé ([11]).

$$\text{amino-2 cyclohexanone } (NH_2, O) \rightarrow C_5H_9-CO_2H$$

Enfin, la desamination nitreuse de l'amino-1 éthylone-1 cyclohexane conduit surtout à l'éthylone-1 cyclohexène-1 (avec une petite quantité d'acide non identifié).

$$CO{-}CH_3 \quad NH_2 \quad \longrightarrow \quad CO{-}CH_3$$

L'importance de la réaction d'élimination est interpretable sur la base de la conformation particulière de l'aminocétone, le groupement NH_2, beaucoup moins volumineux que $CO.CH_3$, occupant préferentiellement la position axiale.

Ces réactions sont comparables à celles que donnent les α-chlorocetones de même structure dans lesquelles le chlore occupe la place du groupement amine lorsqu'on les soumet à l'action du méthoxyde de sodium ([12]), ([13]).

Le mécanisme de ces réactions est probablement le même, le carbonium engendré par action de l'acide nitreux sur l'aminocétone évoluant exactement comme celui qui résulte de l'action du réactif basique sur la chlorocetone.

([1]) R. Granger et H. Técher, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2581.

([2]) Wl. Gulewisch et Th. Wasmus, *Ber.*, 39, 1906, p. 1181.

([3]) E. Mohr et Th. Geis, *J. prakt. Chem.*, 81, 1910, p. 49.

([4]) S. Gabriel, *Ber. der deutsch Chem. Gesel.*, 46, 1913, p. 1319.

([5]) S. Gabriel, *Ber. der deutsch Chem. Gesel.*, 44, 1911, p. 57.

([6]) H. Reihlen, G. von Hessling, H. Hühn et E. Weinbrenner, *Ann.*, 493, 1932, p. 20.

([7]) M. Godchot et G. Cauquil, *Comptes rendus*, 200, 1935, p. 1479; H. Larramona, *Comptes rendus*, 232, 1951, p. 849.

([8]) H. M. Kissman, D. S. Tarbell et J. Williams, *J. Amer. Chem. Soc.*, 75, 1953, p. 2959.

([9]) D. Y. Curtin et S. Schmukler, *J. Amer. Chem. Soc.*, 77, 1955, p. 1105.

([10]) R. Granger et H. Técher, *Bull. Soc. Chim.*, 1958, p. 1317.

([11]) O. E. Edwards et M. Lesage, *J. org. Chem.*, 24, 1959, p. 2071.

([12]) J. G. Aston et R. B. Greenburg, *J. Amer. Chem. Soc.*, 62, 1940, p. 2590.

([13]) M. Mousseron, R. Jacquier et A. Fontaine, *Bull. Soc. Chim.*, 1952, p. 767.

(*Laboratoire de Chimie organique, Faculté de Pharmacie, Montpellier.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Action chlorurante du tétrachlorure de titane sur les éther-oxydes et leurs alcools.* Note de MM. **Pierre Mastagli**, **Casimir Gnanadickam** et Mlle **Geneviève Garat**, présentée par M. Marcel Delépine.

Les Auteurs étudient l'action du tétrachlorure de titane sur quelques éther-oxydes aliphatiques et leurs alcools.

L'action de $TiCl_4$ sur les alcools a été souvent étudiée et a permis de préparer des dérivés alkoxylés de titane [1]. De notre côté nous avions d'abord songé à employer le $TiCl_4$ comme agent de chloruration des alcools par analogie avec PCl_5; mais tous nos travaux, quelles que soient les variantes adoptées n'ont abouti qu'à des échecs, on obtenait soit des corps polymérisés, soit des dérivés alkoxylés.

Nous savions d'ailleurs que PCl_5 était capable de couper en deux tronçons une molécule d'éther-oxyde ordinaire selon l'équation suivante connue :

$$PCl_5 + C_2H_5OC_2H_5 \rightarrow POCl_3 + 2\,C_2H_5Cl.$$

pour aboutir à un chlorure.

Dans les expériences préliminaires, nous avions noté que la dissolution du $TiCl_4$ dans les éther-oxydes provoquait un échauffement violent et nous avions cru qu'il s'agissait d'une formation de complexes.

En approfondissant la question, nous nous sommes aperçus qu'il s'agissait d'une véritable réaction chimique, probablement suivant la réaction

$$TiCl_4 + 2\,R{-}O{-}R \rightarrow Ti\begin{matrix}\diagup (OR)_2 \\ \diagdown (Cl)_2\end{matrix} + 2\,RCl \quad [2].$$

Ce qui nous a intéressés aussi, c'est de poursuivre notre premier but, c'est-à-dire celui d'employer le chlorure de titane comme agent de *chloruration* d'alcools. En fait, nous avons trouvé une méthode qui semble donner des résultats satisfaisants.

Dans une série de réactions qui consistaient à chauffer à reflux pendant 1 h 30 mn à 2 h le $TiCl_4$ avec l'éther-oxyde en excès, nous avons obtenu par distillation directe un dérivé chloré, avec un rendement qui ne correspondait pas à la perte de quatre atomes de chlore. Dans le distillat il restait une partie d'éther-oxyde qui n'avait pas réagi. Nous avons constaté aussi la présence du carbure éthylénique. Pendant la réaction se déposait, au fond du ballon, un solide dont l'analyse du chlore permet de conclure à un dérivé dichloro-dialkoxylé de titane. Ceci a été confirmé par le fait que, en chauffant ce solide à reflux avec une grande quantité d'alcool primaire correspondant à l'éther-oxyde employé, nous avons

obtenu par distillation une nouvelle quantité du chlorure. Il semble donc qu'il y ait deux étapes bien distinctes dans la perte en chlore du chlorure de titane : la première perte est capable d'effectuer la coupure d'éther-oxyde et la seconde celle du radical hydroxyle des alcools.

En pratique, on prend 52 g d'oxyde de butyle. On y ajoute avec précaution sous la hotte 20 g de $TiCl_4$ et l'on chauffe à ébullition pendant 1 h 30 mn sur flamme nue. On distille le chlorure formé : É 76-80°. Dès que la température monte, on laisse refroidir et l'on ajoute 30 g d'alcool butylique; on chauffe à reflux pendant 1 h et l'on distille directement. Les rendements obtenus selon les éther-oxydes essayés : éther isopropylique, butylique *n*, amylique *n*, hexylique, heptylique varient de 45 à 50 %.

En conclusion, nous voyons déjà que le chlorure de titane, comme on a pu le noter dans le cas du BCl_3 [3] et $SiCl_4$ [4], permet de couper une chaîne aliphatique aussi stable que celle des éther-oxydes. Il nous restera à continuer ce travail en l'étendant aux éther-oxydes mixtes pour déterminer sur quel radical se fixera l'halogène.

(1) MINAMI et ISHINO, *Kôgyô Kagaku Zasshi*, 61, 1958, p. 66.

(2) Pendant nos travaux nous avons appris par une Communication privée de M. Normant que cet auteur était arrivé à un résultat semblable au nôtre par action du $TiCl_4$ sur les tétrahydrofuranes. Dans ce cas on obtient l'ouverture du cycle et un chloroalkoxytitane.

(3) GERRARD, LAPPERT et SILVER, *J. Chem. Soc.*, 1956, p. 4987.

(4) SCHWARZ et KUCHEN, *Ber. der deutsch Chem. Gesel.*, 89, 1956, p. 169.

(*Faculté Catholique de Paris.*)

CHIMIE ORGANIQUE. — *Relations entre akuammicine et geissoschizoline.*

Note de MM. **Maurice-Marie Janot, Jean Le Men, Alain Le Hir, Jean Lévy** et **Francis Puisieux**, présentée par M. Marcel Delépine.

Le passage de l'akuammicine à la geissoschizoline confirme la structure et précise la stéréochimie, proposées pour ce dernier alcaloïde.

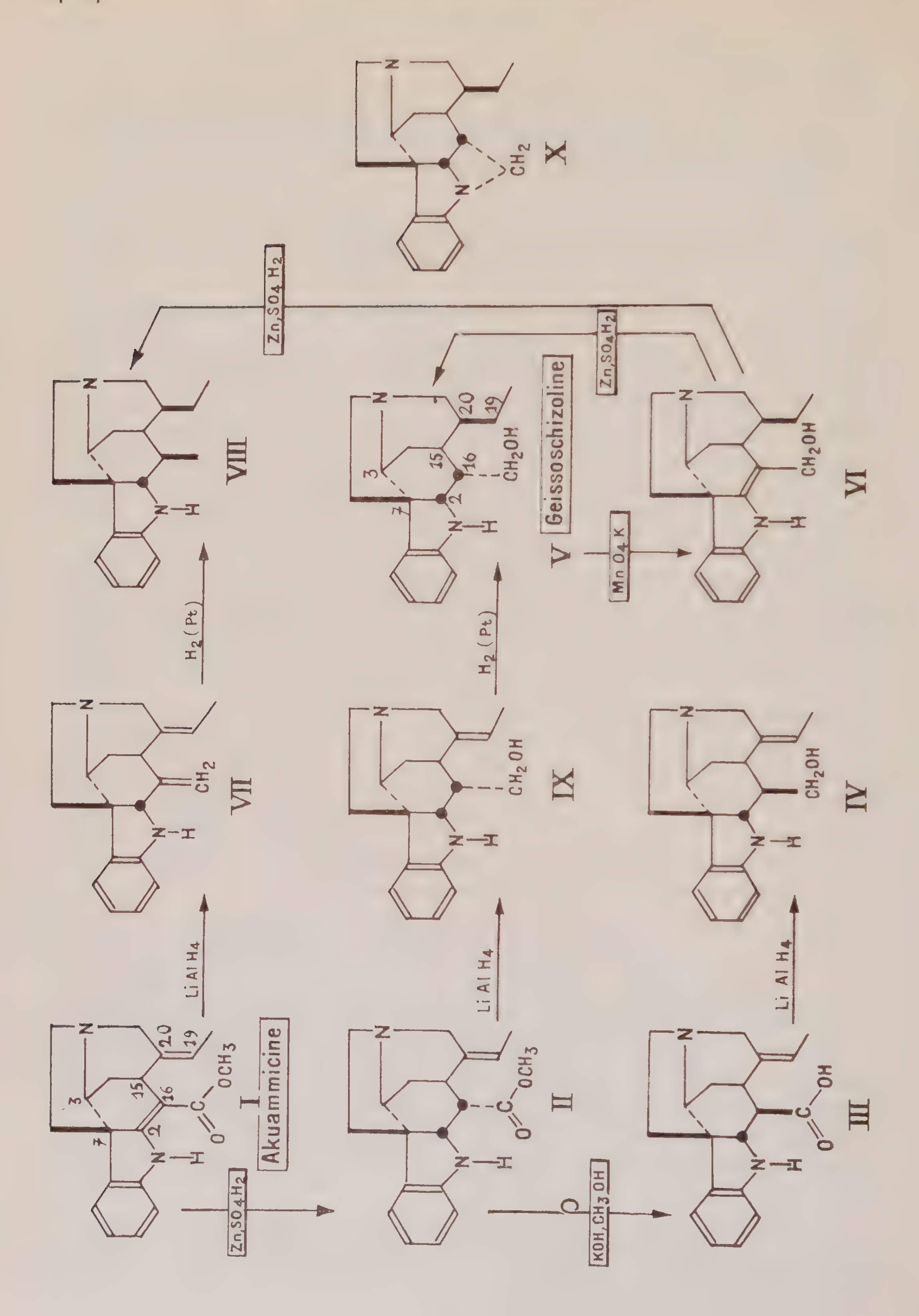
L'akuammicine répond à la structure (I) ([1]), ([2]), ([3]), ([4]) caractérisée par la présence d'une fonction ester α, β-insaturée. Traitée par $LiAlH_4$, elle ne conduit pas à l'alcool correspondant, mais à une base désoxygénée (VII) qui, par hydrogénation catalytique sur platine Adams, fournit le dérivé tétrahydrogéné (VIII) : F 182°; $[\alpha]_D^{20} + 30°$ (éthanol $c = 1,1$); $C_{19}H_{26}N_2$, calculé %, C 80,84; H 9,30; trouvé %, C 80,80; H 9,28 ([4]). Par contre, la 2-16-dihydroakuammicine (II) et l'acide (III) préparé par saponification de (II) ([4]), traités dans les mêmes conditions, fournissent respectivement les alcools (IX) et (IV).

Le composé (IV) est identique à l'alcool préparé par Karrer à partir de l'aldéhyde de Wieland-Gumlich ([5]). L'alcool (IX) non isolé à l'état cristallisé, fournit par hydrogénation catalytique l'alcool (V) dont l'iodométhylate est identique à celui de la geissoschizoline ([7]).

La geissoschizoline oxydée par le permanganate de potassium en milieu acétonique se transforme en un produit : F 164°, $[\alpha]_D^{20} - 362°$ (pyridine); $C_{19}H_{24}ON_2$, calculé %, C 76,99; H 8,16; N 9,45; trouvé %, C 76,8; H 8,2; N 9,4, pour lequel nous proposons la structure (VI) étant donné ses caractéristiques spectrales. L'action du zinc et de l'acide sulfurique dilué sur (VI) conduit simultanément à la geissoschizoline (V) et à la base (VIII) précédemment préparée à partir de l'akuammicine (I).

L'obtention de la geissoschizoline à partir de l'akuammicine et celle de la base (VIII) à partir des deux alcaloïdes permet d'affirmer d'abord que la geissoschizoline, conformément à notre hypothèse précédente ([7]), possède bien les *cinq cycles* de l'alcool (IV), également obtenu à partir de l'akuammicine ([4]); de plus, étant donné que la stéréochimie de l'alcool (IV) issu de l'aldéhyde de Wieland-Gumlich est connue ([5]), la stéréochimie de la geissoschizoline, de ses dérivés, de ceux de l'akuammicine va pouvoir être précisée. Tout comme dans l'alcool (IV) l'hydrogène en 15 dans tous ces alcaloïdes est α, ce qui en conséquence fixe la stéréochimie des atomes de carbone 3 et 7.

La cyclisation de la geissoschizoline (X) n'est possible que si les atomes d'hydrogène en 2 et 16 sont cis et nous avions conclu à leur position β stériquement la plus probable ([6]), ([7]). Par une suite de réactions ne modi-


I
Akuammicine
II
III
IV
V
Geissoschizoline
VI
VII
VIII
IX
X
Zn, SO4 H2
Li Al H4
H2 (Pt)
KOH, CH3 OH
Mn O4 K
CH2OH
OCH3
CH2

fiant pas l'orientation de C_2, on passe de (II) à la geissoschizoline, d'une part, et, d'autre part à l'alcool (IV) qui est 2β; ces trois composés sont donc 2β, ce qui confirme la stéréochimie 2β-16 β de la geissoschizoline. La configuration des atomes de carbone 2 et 16 de la geissoschizoline étant ainsi déterminée, on peut en déduire que dans la dihydroakuammicine (II) dont elle dérive à la suite de réactions peu favorables à une épimérisation, l'hydrogène fixé en 16 est également β; (II) est donc 2β-16 β. Par contre, l'obtention de l'alcool (IV) (2β-16α) à partir de (II) par l'intermédiaire de l'acide (III), peut s'expliquer par l'épimérisation du carbone 16 au cours de la saponification de (II), qui fait passer le groupement fonctionnel de la position axiale à la position équatoriale plus stable.

Les résultats précédents autorisent, enfin, à fixer la stéréochimie de tous les dérivés saturés en 19-20 préparés par hydrogénation catalytique. L'encombrement de la molécule est tel que la fixation de l'hydrogène en 20 est beaucoup plus facile en position α. Cette remarque permet en particulier de fixer entièrement la stéréochimie de la geissoschizoline selon la formule (V).

Pour la même raison, les hydrogènes portés par les carbones C_{16} et C_{20} dans le composé (VIII) sont tous deux α. Bien que la configuration du carbone 2 dans ce composé (VIII) ne puisse pour l'instant être fixée en toute rigueur, nous pensons que l'hydrogène en cette position est 2β, étant donné la similitude des réactions qui font passer de (I) à (II) d'une part, et de (VI) à (VIII), d'autre part.

(1) K. Aghoramurthy et R. Robinson, *Tetrahedron*, 1, 1957, p. 172.

(2) G. F. Smith et J. T. Wrobel, *J. Chem. Soc.*, 1960, p. 793.

(3) K. Bernauer, W. Arnold, C. Weissmann, H. Schmid et P. Karrer, *Helv. Chim. Acta*, 43, 1960, p. 717.

(4) J. Lévy, J. Le Men et M.-M. Janot, *Bull. Soc. Chim.*, 1960 (sous presse).

(5) K. Bernauer, F. Berlage, W. Von Philipsborn, H. Schmid et P. Karrer, *Helv. Chim. Acta*, 41, 1958, p. 2293.

(6) F. Puisieux, R. Goutarel, M.-M. Janot, J. Le Men et A. Le Hir, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1285.

(7) F. Puisieux, A. Le Hir, R. Goutarel, M.-M. Janot et J. Le Men, *Ann. Pharm. fr.*, 17, 1959, p. 626.

(*Faculté de Pharmacie, Paris.*)

RADIOCRISTALLOGRAPHIE. — *Observation directe des unités cristallines constituant les bandes de glissement dans l'aluminium très pur.* Note (*) de MM. **Henri-Jean Latière** et **Roger Michaud**, transmise par M. Louis Néel.

Nous avons observé ([1]) que, lorsqu'on prend le diagramme de diffraction X d'un monocristal légèrement allongé au moyen d'un faisceau divergent embrassant tout le cristal dans une chambre à deux films ([2]), chaque bande de diffraction obtenue présente une sous-structure dont chaque élément correspond à une bande de glissement du cristal ([1]).

Même avant déformation, un monocristal fraîchement préparé donne, dans les mêmes conditions, et du fait de son imperfection, une amorce de sous-structure analogue (*fig.* 1), à partir de laquelle se développera ultérieurement, aux mêmes endroits, la sous-structure de déformation (*fig.* 2).

De plus, cette sous-structure se développe d'autant mieux par déformation plastique que l'orientation initiale du monocristal par rapport à l'axe d'allongement favorise la multiplication des plans actifs de glissement : dans le cas de la figure 3, un seul plan (111) se trouve en position de glissement facile, ce qui donne une sous-structure moins nette que dans le cas de la figure 2.

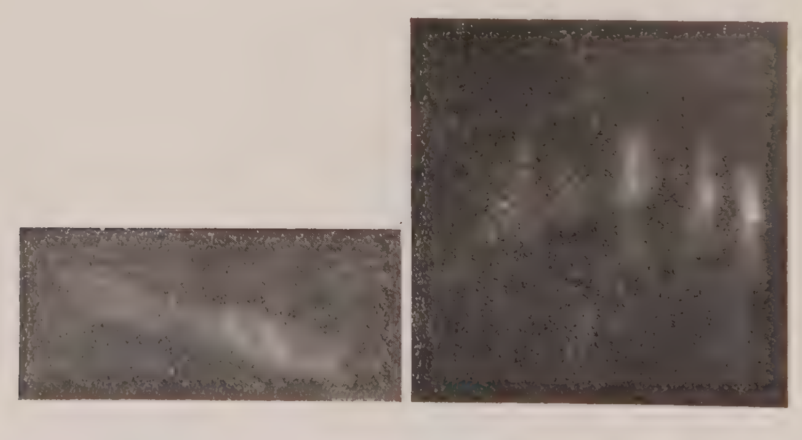


Fig. 1 (G × 4). Fig. 2 (G × 4).

Nous avons attribué ([1]) tous ces aspects des diagrammes de diffraction X à un effet d'extinction, en ce sens que dans les zones des bandes et lignes de glissement, il se produit de minimes désorientations mutuelles des unités cristallines, favorisant une diminution de l'extinction du faisceau.

Des examens ultérieurs en lumière polarisée, sous un éclairage approprié, et après attaque choisie, ont mis effectivement en évidence la subdivision

des lignes de glissement en plages discrètes s'éclairant alternativement par rotation de l'analyseur.

C'est ainsi, par exemple, que dans le cas de microéprouvettes de traction Chevenard en aluminium à 99,99 %, recuites 2 h à 600° C, puis allongées de 2 % et polies électrolytiquement dans un bain alcoolique d'acide



Fig. 3 (G × 4).

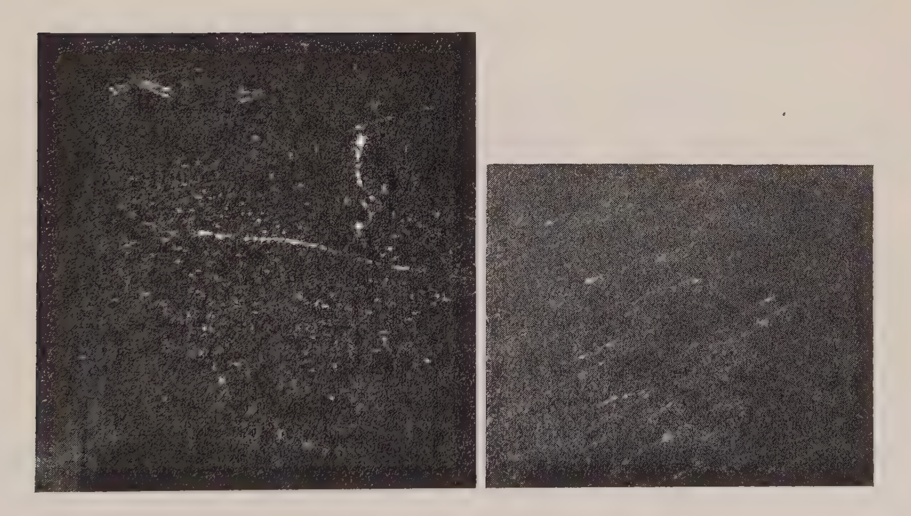


Fig. 4 (G × 50). Fig. 5 (G × 500).

perchlorique et de butylglycol, on constate entre nicols croisés, après avoir accentué la sous-structure par un chauffage juste au-dessous du point de fusion, que les plages correspondant aux figures de glissement présentent une scintillation (*fig.* 4) par rotation dans leur plan.

De même, pour un allongement plus important (20 %), les lignes de glissement nettement apparentes sur un monocristal attaqué à l'eau régale fluorée, présentent une ponctuation (*fig.* 5) variable par rotation de l'analyseur.

L'examen au microscope confirme ainsi l'existence perceptible aux rayons X de microcristallites produits par déformation plastique d'un gros cristal et de dimensions inférieures au micron.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) H. J. Latière et R. Michaud, *Mémoires scientifiques de la Revue de Métallurgie*, 57, n° 3, 1960, p. 161-172.

(2) H. J. Latière et R. Michaud, *Comptes rendus*, 242, 1956, p. 385.

GÉOLOGIE. — *Sur les glaciations aux environs de Lyon.*
Note de M. **Marcel Gigout**, présentée par M. Paul Fallot.

Comme en Bièvre-Valloire, on reconnaît à Lyon trois plaines fluvio-glaciaires également emboîtées l'une dans l'autre, donc trois glaciations, séparées par des creusements fluviaux d'importances comparables.

Le nombre des fronts glaciaires qui ont atteint les environs de Lyon est, depuis longtemps, un objet de controverses. On en a décrit trois, ou deux, ou même un seul avec des stades de retrait.

Malgré des complications dues au substratum hétérogène et à l'écoulement fluvial transversal à l'arrivée de la glace, on retrouve à Lyon l'emboîtement de plusieurs plaines fluvio-glaciaires, comme en Bièvre-Valloire (1) : à chaque maximum glaciaire, une plaine alluviale était réalisée au front du glacier, tandis qu'entre les maximums le creusement fluvial l'emportait, globalement, à cet endroit. Aux environs de Lyon, on parvient à distinguer trois plaines fluvio-glaciaires emboîtées. J'emploierai pour les désigner les termes Mindel, Riss et Würm, à titre de comparaison et non d'identification.

La plaine fluvio-glaciaire la plus ancienne, mindélienne, comprend le plateau des Dombes, les fragments de plateau de Fourvière, Sainte-Foy, Côte-Lorette, Millery, le télégraphe de Communay. Le glacier qui l'a produite butait contre le mont d'Or et le Plateau lyonnais. Les eaux de fonte s'écoulaient par un chenal, dont il reste des traces vers l'altitude 260 m, sur le parcours Écully, Francheville, Beaunant, Brignais, Givors. Les moraines reposent souvent, par exemple à Sathonay (Est du Camp), sur des alluvions de progression, partie des « alluvions grises ».

Entre Mindel et Riss, le réseau fluvial s'est certainement réinstallé sur son trajet actuel; la Côtière des Dombes a été façonnée, peut-être en partie exhumée; le plateau glaciaire de Fourvière à Millery a été découpé, et la plaine de l'Est lyonnais profondément disséquée.

De la seconde plaine fluvio-glaciaire remblayée, rissienne, restent le plateau de Solaise et tous les fragments qui dépassent de la plaine de l'Est lyonnais : Parilly-Saint-Priest, Chassieu, Jonage, etc. Nous devons penser que le glacier responsable était contenu par la Côtière des Dombes et par les collines entre Fourvière et Communay (*fig.*). Il s'arrêtait sur les glacis du Roule (La Mulatière), d'Oullins et d'Irigny, avançait de courtes langues à Beaunant, aux Barolles, à Charly et à Grigny; ces endroits conservent des moraines plus fraîches que les plateaux entre Fourvière et Millery. L'explication par un glacier rissien au bord festonné, que seul à ma connaissance A. Journaux avait déjà vue dans sa thèse, est bien plus



Le Rissien des environs de Lyon.

satisfaisante que celle qui fait courir de Fourvière à Grigny un vallum morainique presque rectiligne et *indifférent au relief*.

Les eaux de fonte reprenaient le parcours Francheville, Beaunant, Brignais, à un niveau inférieur, 220 m environ. Un placage fluvioglaciaire et même morainique est conservé contre la Côtière des Dombes, surtout à Crépieux-la-Pape et Vassieux. Les moraines rissiennes occupent généralement une position terminale, sur les alluvions de progression, autre partie des « alluvions grises », par exemple à la Tour de Millery. Localement, à Sérézin, M. Thoral a fait connaître un feuillet de lœss emprisonné dans le fluvio-glaciaire rissien, et témoignant sans doute d'un interstade. Cet épisode serait également marqué par un ravinement fluvial dans la région de Givors (terrasse intermédiaire de la figure).

Au Riss-Würm, le Rhône a repris le tracé actuel; ses affluents ont disséqué les dépôts rissiens de l'Est lyonnais, ne laissant que des témoins allongés.

La dernière plaine fluvio-glaciaire est celle du Würm. Le front glaciaire s'est arrêté à une dizaine de kilomètres de Lyon. Le glacis frontal et le remplissage alluvial sont conservés intacts entre les témoins de la glaciation rissienne.

A chaque période interglaciaire, un calme morphogénétique de longue durée, interrompant le creusement fluvial, favorisait l'évolution pédologique. Ainsi s'expliquent les paléosols différents qui scèlent certaines surfaces. On connaît un paléosol du Mindel-Riss, le *ferretto*, dans la région de Communay et à Fontaines-sur-Saône; un paléosol du Riss-Würm sur la terrasse du Garon à l'aval de Brignais; enfin le paléosol postérieur au Würm est très répandu.

La région de La Valbonne offre aussi un bon exemple des trois plaines fluvio-glaciaires emboîtées, comme l'avait interprété Ch. Depéret pour la deuxième édition de la carte géologique de Lyon. Dans les collines du Bas-Dauphiné, la disposition est naturellement plus compliquée que dans les plaines de Bièvre-Valloire et de Lyon; des reliefs relativement importants étaient ménagés pendant les interglaciaires; les glaciers, en attaquant une surface accidentée, pratiquaient des décapages, des sillons, ou des remblais. On y discerne cependant les trois dernières glaciations.

(1) M. Gigout, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 564.

(*Faculté des Sciences, Lyon.*)

GÉOLOGIE. — *Présence du Turonien dans la région du lac de Narlay (Jura).* Note de Mme **Solange Guillaume**, présentée par M. Paul Fallot.

Du Crétacé supérieur du Jura [1] on ne connaît que peu de chose : le Sénonien sous le faciès de calcaires crayeux à silex ne constitue que quelques petits affleurements. Les plus connus sont ceux de Lains (Jura) [2], Chésery (Ain) [3], Leyssard (Ain) [4], Cuiseaux (Saône-et-Loire) [4]. Le Crétacé supérieur de Cuiseaux, étudié par Vincienne [4], n'a fourni que des *Globotruncana linnei* (d'Orbigny). Cette espèce ne donne que peu de précision stratigraphique puisqu'elle débute dans le Cénomanien élevé et persiste pendant tout le Sénonien.

Par contre, la craie à silex de Lains [2] est datée du Sénonien inférieur par sa microfaune à *Globotruncana globigerinoides* Brotzen et *Gl. schneegansi* Sigal. Au Sénonien ont été également rapportés par Vincienne et Cliquet [5] les galets de calcaires à Fissurines de la brèche de Narlay, mais, comme pour ceux de Cuiseaux, ces calcaires ne sont datés que par *Globotruncana linnei* (d'Orbigny).

Dans la Bresse, Mme Lefavrais-Raymond a reconnu [6], grâce à l'étude de nombreuses carottes de sondages, du Sénonien à *Globotruncana linnei* (d'Orbigny), *Gl. lapparenti* Brotzen et *Gl. globigerinoides* Brotzen.

Dans le Jura comme dans la Bresse, le Cénomanien est représenté par un calcaire à Fissurines identique à celui du Sénonien, mais dont la microfaune à Rosalines est caractéristique : *Globotruncana stefani* var. *turbinata* Reichel, *Rotalipora cushmani* (Morrow), *Rotalipora globotruncanoides* Sigal, *Rotalipora apenninica* (Renz), *Thalmanninella brotzeni* Sigal.

Les calcaires à Fissurines, situés entre le Cénomanien et les calcaires rapportés au Sénonien, ont été attribués dans la Bresse au Turonien, uniquement à cause de leur place entre deux formations datées.

Jusqu'à présent, si l'on veut considérer la série du Crétacé supérieur comme continue, le Turonien a été soupçonné, mais n'a jamais été reconnu avec certitude, faute d'une faune caractéristique.

Au Nord-Est du lac de Narlay, dans un sentier reliant la route Pont-de-la-Chaux-Chatelneuf au lac, affleurent sur une quinzaine de mètres des calcaires gris clair à grain très fin ($x = 874{,}75$; $y = 189{,}5$). Les couches sont verticales et butent contre des calcaires dolomitiques du Jurassique supérieur. Ces calcaires ont montré, en plaques minces, des sections de Rosalines qui ont été étudiées après avoir été dégagées par lavage à l'acide acétique. Ils nous ont livré une belle microfaune du Turonien : *Globotruncana helvetica* Bolli, *Gl. stefani* var. *turbinata* Reichel, *Gl.* gr. *stefani* Gandolfi, *Gl.* gr. *linnei* (d'Orbigny), *Gl. turona* Olbertz, parmi de nombreux *Pithonella ovalis* Kaufmann, « *Lagena* » *sphærica* Kaufmann et *Calcisphærula innominata* Bonet.

Cette association de petites Rosalines globuleuses à carènes peu marquées même chez les formes normalement carénées, est qualifiée de « primitive » par J. Sigal qui l'a déterminée et caractérise certainement du Turonien non élevé. Mais, argument essentiel, il faut insister sur la présence de *Globotruncana helvetica* Bolli typique. Cette microfaune comprend, en outre, quelques Gümbelines, d'assez nombreuses « grosses Globigérines » et des débris d'Échinodermes dont certaines sections rappellent les Saccocomidés (dét. M. Durand-Delga).

Il est curieux de remarquer que ce Turonien à microfaune très nette ne présente pas le faciès macroscopique légèrement crayeux du Crétacé supérieur connu du Jura mais se présente au contraire sous forme d'un calcaire gris, assez dur, sans macrofaune et qui pourrait être confondu avec le Jurassique supérieur. Ce premier affleurement reconnu de Turonien daté constitue un jalon important pour la Paléogéographie du Jura au Crétacé supérieur.

(1) P.-L. Allard, J. Cuvillier et J. Sigal, *C. R.* 84e *Congrès des Sociétés savantes*, Dijon, 1959.

(2) S. Guillaume, *Bull. Soc. géol. Fr.*, , 1959, sous presse.

(3) L.-W. Collet et E. Parejas, *C. R. Séances Soc. Phys. Hist. Nat. Genève*, 42, n° 3, 1925, p. 148.

(4) H. Vincienne, *C. R. Somm. Soc. géol. Fr.*, 1936, p. 122.

(5) H. Vincienne et P. Cliquet, *C. R. Somm. Soc. géol. Fr.*, 1948, p. 119.

(6) A. Lefavrais-Raymond, *C. R.* 84e *Congrès des Sociétés savantes*, Dijon, 1959.

GÉOLOGIE. — *Séries stratigraphiques des écailles orientales du massif de l'Armetta (Prov. Cuneo, Italie).* Note de M. Maurice-Jacques Graindor, présentée par M. Paul Fallot.

Sur une transversale Nord-Est Sud-Ouest passant par le sommet du Monte Armetta, j'ai pu établir ([1]) que ce massif comportait six imbrications assez redressées, reposant sur la série par laquelle se prolonge le Marguareis, par l'intermédiaire d'un puissant « complexe de schistes écrasés » d'âge présumé sénonien et nummulitique. Lors d'une campagne en 1959, j'ai tenté de suivre latéralement les unités antérieurement reconnues. Le morcellement des unités, effilées latéralement, ne me l'a pas permis.

L'étude stratigraphique se complique, d'autre part, du fait de l'absence très générale (sauf dans le Nummulitique) de faune et de microfaune : ce sont des analogies de microfaciès qui ont permis de proposer un âge vraisemblable pour les diverses formations, grâce au nombre de préparations examinées et comparées avec des documents provenant des récoltes de M. Lanteaume dans des régions voisines. Toutefois, des *Globochaete* et des Saccocomidés ont indiqué le Malm dans quelques calcaires, et des débris d'Oursins le Dogger dans plusieurs calcaires sombres, encore qu'il ne s'y soit pas trouvé de filaments d'Algues.

Les paquets disjoints que j'ai étudiés sont situés sur les versants sud-est, est et nord-est du massif. Plusieurs reposent sur le complexe des schistes écrasés ou y sont partiellement insérés : il semble bien qu'il s'agisse de paquets de charriage. Si je n'ai pu encore établir la disposition géométrique de ces écailles par rapport à l'ensemble du massif, au moins ai-je pu examiner en détail leur constitution stratigraphique et faire ressortir de notables différences entre elles.

Je décrirai sommairement les caractères de ces écailles prises dans l'ordre ascendant, en partant du bas du versant méridional de l'Armetta où elles reposent sur le complexe des schistes écrasés ; le défaut de continuité entre ces petites unités m'oblige à les désigner provisoirement du nom du lieu où chacune d'entre elles apparaît. Trois écailles sont superposées : ce sont celles de la croupe de Bandia, de Manara et de San Bartolomeo. Quatre sont isolées latéralement, de part et d'autre des précédentes : à l'Est, celles du tunnel de Rocca Rossa et du Monte Dubasso ; à l'Ouest, celles des Case Porcile et du versant nord-est de l'Armetta. Une dernière enfin apparaît en fenêtre entre les séries de la croupe de Bandia et du tunnel de la Rocca Rossa.

1. La série de Bandia (2 km à l'Est de Caprauma). Bien visible selon la coupe qu'en offre la route de Caprauna à Alto, elle comporte :

a. Malm : calcaires cristallins gris et roses, rappelant le faciès de Guillestre (12 à 15 m).

b. Des passées de schistes appartenant au complexe des schistes écrasés dont le microfaciès, à défaut de microfaune, suggère une affinité avec le Sénonien ; on y remarque en outre la présence de couches rouges.

c. Le Nummulitique, débité en plusieurs lames superposées de 10 à 15 m de puissance, séparées par des passées du complexe schisteux écrasé.

2. La série de Manara ; repose, renversée, sur la précédente :

a. Calcaires gris-noir du Trias avec un peu de cargneules (10 m).

b. Calcaires noirs attribuables au Dogger par leur microfaciès (5 à 10 m).

c. Calcaires du Malm, d'épaisseur variable pouvant atteindre 50 m, et constitués à leur partie supérieure par des roches roses évoquant le faciès de Guillestre.

Cette série s'étend à l'Ouest jusqu'au ravin descendant des Case Porcile où elle paraît insérée, incomplète, dans le complexe des schistes écrasés.

3. La série de San Bartolomeo règne au-dessus des précédentes dans la croupe portant l'ermitage de ce nom (1,5 km au Nord de l'élément de Bandia) :

a. Trias rose un peu dolomitique (10 m).

b. Calcaires attribués au Dogger, toujours en raison de leur microfaciès (15 m),

c. Malm se terminant par des calcschistes et des calcaires rosés (20 m au moins).

4. La série du tunnel de Rocca Rossa, très peu épaisse, très laminée, pincée entre le Nummulitique de la Rocca Rossa et l'unité de Carpenea. On y trouve, un peu renversée, une série constituée par :

a. des phyllades vertes que j'attribue au Permien (1 m) ;

b. des cargneules (3 à 4 m) ;

c. des dolomies (5 m) ;

d. disposés en copeaux lenticulaires, ne dépassant pas 1 m d'épaisseur, sous le Nummulitique, des calcaires très finement stratifiés en lits de 0,25 à 1 mm d'épaisseur, alternativement noirs et gris-clair, d'âge encore inconnu.

5. La série du Monte Dubasso (et de la Costa Sella). Elle comprend uniquement du Werfénien à base conglomératique reposant sur des phyllades verts écrasés qui paraissent devoir être attribués au Permien. Ce Permien diffère de celui qui apparaît à la base nord-est du massif de l'Armetta et qui est constitué par de la bésimaudite et des dépôts détritiques épimétamorphiques dérivant d'elle.

6. La série des Case Porcile (1,5 km au Sud-Est du sommet de l'Armetta) repose par sa base sur le complexe des schistes écrasés, mais ne peut être reliée à rien latéralement. On y trouve :

a. une très mince passée de pélites werféniennes ;

b. une épaisse formation de calcaires dolomitiques du Trias (50 m) passant vers le haut à des calcaires de teinte rose et un peu violacée ;

c. 4 à 6 m de Dogger (présumé d'après le microfaciès).

7. La série de Carpenea comprend :

a. Calcaires roses et gris à faciès de Guillestre (20 m).

b. Passage des calcaires roses à des couches plus rouges qui, par leur microfaciès, évoquent le Crétacé inférieur (5 à 6 m).

c. Alternance de bancs calcaires attribuables au Sénonien et de schistes du complexe écrasé.

8. Une dernière unité latérale, située au Nord-Est de l'Armetta et formant le versant abrupt au-dessus de la vallée du Tanaro, doit être mentionnée : elle comporte une épaisse série de Trias (150 m) ; il s'y intercale (4 m) des pélites brunes dont la relation avec l'ensemble n'est pas élucidée. Le Sénonien repose, par l'intermédiaire d'un conglomérat à ciment rouge, sur le Trias ; le Nummulitique paraît en continuité stratigraphique avec le Sénonien, bien que faute de microfaune, cela ne puisse être démontré.

Si les trois premières séries sont superposées, leurs constituants stratigraphiques diffèrent, même entre celles de Manara et de San Bartolomeo, les moins dissemblables. Comme elles n'occupent que 2 à 3 km² au total, on ne peut songer à la fragmentation d'une unité tectonique subordonnée au complexe sommital de l'Armetta. Quant à tout cet ensemble, il représente 8 km² avec des variations stratigraphiques plus grandes encore entre ces unités isolées latéralement, ce qui renforce l'interprétation.

L'Armetta s'avère beaucoup plus complexe que ne le supposait l'opinion jadis accréditée selon laquelle sa masse sommitale n'aurait correspondu qu'à un simple pli couché. En attendant qu'une nouvelle campagne me permette de préciser leurs rapports, je crois devoir souligner l'hétéropisme des écailles mentionnées et leur degré de dilacération qui laissent prévoir qu'il faudra attribuer à tout l'allochtone du massif une origine relativement lointaine et tectoniquement composite.

(1) *Comptes rendus*, **246**, 1958, p. 2134.

GÉOLOGIE. — *Le gisement de fer de Lastric (Ariège) et ses relations avec l'épisyénite.* Note (*) de MM. **Jean Thiébaut** et **Maurice Weppe**, présentée par M. Pierre Pruvost.

Dans les Pyrénées ariégeoises, à 2,5 km au Sud-Est de Gourbit, à la cote 1470, la mine de fer de Lastric est située sur la bordure orientale du massif des Trois Seigneurs, à proximité immédiate du contact avec les formations mésozoïques. La récente remise en état de cette mine nous a permis d'en faire une étude dont voici les faits essentiels.

En cette région, le socle cristallophyllien est constitué par des anatexites granitoïdes [1]. Les travaux miniers ont recoupé une zone de mylonites, subverticale, d'une cinquantaine de mètres de puissance dans lesquelles se sont mises en place, d'une part, une minéralisation d'oligiste et de pyrite, d'autre part, une roche verte apparentée aux épisyénites [1]. Cette zone a ses épontes nettement délimitées. La mylonite est essentiellement constituée par les minéraux des anatexites, plus ou moins modifiés : débris de quartz onduleux, plagioclases zonés aux environs de An_{10} aux plans de macles tordus, microcline assez rare, biotites remplacées par un mica blanc aux clivages froissés, bourrés d'inclusions ferrugineuses ou par de la chlorite en longues fibres. Tous ces éléments sont cimentés, soit par des débris très fins de la roche originelle, soit par des minéraux de néoformation : calcite, quartz et minerais de fer.

La minéralisation comprend de l'oligiste écailleux et de la pyrite dans une gangue de calcite dominante de sidérose et de quartz. Cette minéralisation se présente de trois façons :

— elle s'incorpore au ciment des éléments de la mylonite;

— elle constitue de multiples petits filonnets qui parcourent la masse mylonitique;

— elle forme de petits amas de quelques mètres répartis dans cette masse et quelques autres plus grands, localisés à proximité de l'éponte sud; c'est dans ces amas que l'oligiste est exploité.

Cet oligiste se présente en masses composées de touffes de lamelles pouvant atteindre plusieurs centimètres. L'étude de sections polies révèle plusieurs générations successives accompagnées de calcite, d'un peu de quartz et de sidérose terminale, qui remplace parfois l'oligiste. La pyrite est très largement disséminée, en amas dans les zones à oligiste abondant, ou en petits grains dans toute la masse mylonitisée. Elle n'est jamais antérieure à l'oligiste, soit que ses premières générations aient été détruites, soit qu'elle ait accompagné uniquement la dernière venue minéralisée.

L'étude microscopique permet, en effet, de différencier deux phases successives dans la mise en place de la minéralisation :

1° imprégnation diffuse, certainement consécutive à la mylonitisation des anatexites;

2° fracturations successives, formant de petits filonnets disséminés; l'une d'entre elles, plus importante et plus localisée, a permis la formation des amas exploités.

Les travaux miniers ont, de plus, permis de *préciser le mode de gisement de l'épisyénite*, antérieurement décrite à partir d'échantillons provenant d'anciens déblais. Cette roche forme un filon subvertical d'une puissance de quelques mètres, variable suivant les points, qui emprunte une fracture nettement localisée à l'éponte sud de la zone mylonitique. Cette fracture recoupe à la fois la mylonite et les amas les plus fortement minéralisés. L'étude microscopique de l'épisyénite montre qu'elle n'a subi aucune déformation postérieure à sa mise en place et qu'elle ne contient aucune minéralisation.

En conclusion, tous ces faits permettent de dégager la séquence suivante :

1° formation de la zone mylonitique;

2° mise en place de la minéralisation au cours de plusieurs fracturations successives;

3° mise en place de l'épisyénite au cours d'une ultime fracturation.

Cette séquence s'inscrit dans l'histoire des Pyrénées entre la phase de plissement hercynien et celle, cénomano-turonienne, de la mise en place des épisyénites. L'étude en cours de gisements analogues permettra peut-être de préciser davantage l'âge de cette minéralisation.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) *Bull. Soc. Histoire naturelle Toulouse*, 91, 1956, p. 49-92.

GÉOLOGIE. — *Précisions stratigraphiques sur le Lusitanien du Portugal*. Note (*) de Mme CHRISTIANE RUGET-PERROT, présentée par M. Pierre Pruvost.

Cet étage défini par Choffat en 1885 n'a jamais fait l'objet de publications de détail et nous sommes mal renseignés sur son stratotype. Ces imprécisions sont d'autant plus graves que Haug a fait entrer ce terme dans l'échelle stratigraphique internationale.

Mes recherches sur les terrains et dans les collections du Service géologique du Portugal me permettent d'apporter quelques éléments nouveaux, d'établir des équivalences et de préciser les variations de faciès.

Dans la région type de *Torres-Vedras*, le Lusitanien se présente sous un faciès de calcaire marneux, parfois même bitumineux, à faune d'ammonites. La succession est la suivante, de bas en haut [1] :

1. *Couches de Cabaço* : 100 m d'épaisseur. Elles comprennent à la base des calcaires feuilletés bitumineux à faune de lamellibranches. Choffat y avait recueilli *Perisphinctes plicatilis* Sow. Au-dessus viennent des calcaires compacts et schisteux à faune de *Perisphinctidæ* caractéristiques de la zone à *Peltoceras transversarium*, comme l'avait reconnu Choffat. Ces couches sont donc l'équivalent de l'Argovien des auteurs français.

2. *Couches de Montejunto* : 350 m d'épaisseur. Elles sont formées de calcaire marneux compact ou schisteux à céphalopodes, passant latéralement à des formations récifales à polypiers. La faune d'ammonites est plus variée que dans les couches de Cabaço. Choffat y avait reconnu avec quelques hésitations la zone à *Peltoceras bimmamatum*, bien qu'il n'ait recueilli qu'un seul échantillon de cette espèce. Mes récoltes et la révision partielle des faunes permettent de retrouver les deux sous-zones admises généralement dans le domaine mésogéen [2]. Les horizons 1 et 2 de Choffat, c'est-à-dire à *P. tizianiformis*, var. *occidentalis* et à *Ochetoceras canaliculatum*, correspondent à la sous-zone actuelle à *Epipeltoceras bimmamatum*, tandis que les horizons 3 et 4 de Choffat, où à côté des nombreux *Perisphinctidæ* apparaissent les *Taramelliceras*, les *Microsphinctes*, les *Idoceras*, appartiennent à la sous-zone à *Idoceras planula*. Il apparaît clairement que les couches de Montejunto sont l'équivalent exact du Rauracien au sens de Haug.

3. *Marnes d'Abadia* : environ 800 m d'épaisseur. L'équivalence de cette puissante assise argileuse et argilo-gréseuse avec bancs de grès lenticulaires et des conglomérats est plus difficile à établir puisque la partie inférieure (300 à 400 m environ) n'a pas encore livré de faune caractéristique. Les seules ammonites récoltées viennent de la partie moyenne : c'est une faune de *Progeronia* (*P. ribeiroi* Choffat, *P. pseudolictor* Choffat), qu'on retrouve d'après R. Enay dans le Jura méridional et l'Île Crémieu au

sommet de la zone à *Streblites tenuilobatus* et à la base de la zone à *A. pseudomutabilis*, c'est-à-dire à la limite entre le Kimméridgien inférieur et le Kimméridgien moyen. Il paraît donc logique d'attribuer, pour le moment, l'ensemble des marnes d'Abadia au Kimméridgien. On notera l'absence de faune séquanienne. Aucun *Ataxioceras* typique n'a été recueilli au Portugal au Nord du Tage.

Si l'on quitte la région type en se dirigeant vers le Nord ou le Nord-Est, on observe des variations de faciès :

Dans la région du Montejunto (20 km Nord-Est de Torres-Vedras), les couches de Cabaço sont largement représentées (300 à 400 m) et fossilifères seulement à la partie supérieure (zone à *P. transversarium*). Les couches de Montejunto ont des faciès plus variés qu'à Torres-Vedras, mais on retrouve la même succession : nombreux *Perisphinctidæ* à la base, *Perisphinctidæ* et *Phylloceras* à la partie moyenne, *Taramelliceras*, *Mirosphinctes* et *Idoceras* à la partie supérieure. Enfin, par analogie de faciès, j'ai attribué aux marnes d'Abadia la zone déprimée et recouverte de végétation qui s'étend au pied du Montejunto. Aucun fossile n'y a été recueilli.

A Cesareda (27 km Nord de Torres-Vedras), au-dessus du Callovien, après lacune et peut-être légère discordance, viennent des couches lagunomarines. Dans les formations récifales très développées qui les surmontent, aucune division n'est possible, en raison même du faciès. La partie supérieure de la formation a donné des céphalopodes proches de *Decipia decipiens* et de *Perisphinctes breviceps* Qu., qui indiquent le sommet du Rauracien ou la base de la zone à *I. platynota*.

A Fatima et à Alcobaça (70 km Nord-Est de Torres-Vedras), les polypiers ne jouent plus qu'un rôle secondaire; ils font place à des dépôts littoraux à lamellibranches alternant avec des formations lagunaires. A Vila Nova de Ourem, j'ai distingué quatre de ces alternances. Je n'ai malheureusement pas retrouvé sur le terrain les ammonites citées par Choffat dans ses notes inédites. Elles indiqueraient un niveau élevé, peut-être déjà le Kimméridgien.

Enfin au *cap Mondego* (120 km Nord de Torres-Vedras), au-dessus des couches à nérinées et à polypiers du Callovien supérieur et après une lacune dont l'importance n'a pu être déterminée, viennent des couches d'eau douce ou lagunaires (complexe charbonneux et calcaire à ciment), puis un seul niveau marin à nombreux lamellibranches dans lequel aucune ammonite n'a encore été citée jusqu'à ce jour.

L'étude du Lusitanien typique et de ses variations montre bien que Choffat considérait ce terme comme une accolade commode pour grouper les formations comprises entre le Callovien bien daté (et la lacune oxfordienne dont il n'avait pas vu toute l'importance) et les couches qu'il attribuait au Kimméridgien en raison de leur faune de lamellibranches.

Il est bien établi maintenant que le « Lusitanien portugais » correspond à l'Argovien, au Rauracien et au Kimméridgien *pro parte*. Si l'on désire, après Haug, un terme commode pour grouper les étages Argovien, Rauracien et éventuellement Séquanien, il me paraît plus simple de garder le terme Lusitanien en modifiant légèrement son extension réelle au Portugal (couches de Cabaço, couches de Montejunto, à l'exclusion des marnes d'Abadia). On retrouve ainsi l'idée première de Choffat : désigner par le terme Lusitanien l'ensemble des couches comprises entre l'Oxfordien bien daté et les premières couches kimméridgiennes. On éviterait d'introduire de nouveaux noms dans la nomenclature internationale.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) P. Choffat, *Ammonites du Lusitanien de la contrée de Torres-Vedras*, 1893.

(2) R. Enay, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 2164.

(*Laboratoire de Géologie, Faculté Catholique, Lyon.*)

GÉOLOGIE. — *Sur la nature pétrographique des formations dinantiennes de la Serra de Grândola (Portugal).* Note (*) de M. **Daniel Fantinet**, présentée par M. Pierre Pruvost.

Le Dinantien affleure largement dans la Serra de Grândola. Il s'agit d'une puissante série composée de « schistes et de grauwackes », ainsi que l'avait déjà noté Pereira da Sousa [1]. L'étude paléontologique a été reprise par M. M. J. Carrington da Costa [2] et C. Teixeira [3]; d'après le travail de M. P. Pruvost [4], sur les terrains carbonifères situés plus au Sud du pays (région de Carrapateira), des corrélations furent établies [5] : toute la zone de la Serra de Grândola, située entre Melides, Grândola, San Francisco da Serra, Santiago do Cacèm, San Bartolomeu da Serra, est attribuée au Dinantien et très certainement au Viséen supérieur. Tous les auteurs donnent le nom de grauwacke à ces roches viséennes, mais sans définition précise. Les différences pétrographiques des divers échantillons récoltés aux environs des localités citées plus haut sont assez nombreuses, mais macroscopiquement, il est difficile d'établir des distinctions.

Ces roches sédimentaires sont toutes formées d'éléments détritiques : les grains de quartz et de feldspaths sont anguleux, les premiers fréquemment à extinction onduleuse, les seconds souvent très frais. Ce sont donc des grès où la nature du ciment est variable; ainsi cinq grandes catégories peuvent être définies :

1. des *Quartzites*, à ciment nettement quartzeux. De rares cristaux de plagioclases séricitisés (albite), quelques paillettes de muscovite et de biotite chloritisée se remarquent. Ces roches généralement noires contiennent des cristaux de pyrite altérée en gypse. Il est intéressant de noter la faible abondance de limonite. Les bancs de quartzites sont en général très localisés et peu épais;

2. des *Grès feldspathiques*, à ciment siliceux et parfois à îlots de matière interstitielle pélitique. Les principaux minéraux, outre le quartz et les feldspaths (albite), sont la muscovite et la biotite chloritisée. De nombreux grains lithiques, formés de débris de microquarzites et de pélites argilomicacées peuvent être observés. Ces grès feldspathiques passent parfois à de véritables arkoses (apparition d'orthose, proportion notable des feldspaths aux environs de 50 %). La présence constante d'apatite doit être signalée. Toutes ces roches présentent une teinte gris sombre, fréquemment masquée par une coloration brune due à de la limonite ou de la goethite, la limonite borde en certains cas les grains de quartz;

3. des *Grès micacés*, à ciment quartzeux ou quartzo-sériteux. Ils ont une apparence de psammites à lits très nets de muscovite et de biotite chloritisée ou partiellement décolorée. La teneur plus ou moins grande en limonite fait varier la couleur générale du brun au gris sombre;

4. des *Grès* à ciment pélitique, avec une forte abondance de grains lithiques. Ils ne se distinguent des précédents que par leur ciment uniquement quartzo-séariciteux. Très rarement des plages de calcite apparaissent;

5. des *Grauwackes proprement dites*, à grains de quartz à extinction onduleuse, à nombreux feldspaths (orthose, plagioclases séricitisés ou saussuritisés). Tous ces grains, non classés, sont associés à des paillettes de muscovite et de biotite chloritisée, et aussi à quelques cristaux d'apatite et de pyrite. Le ciment est quartzo-séariciteux, à tendance chloriteuse (un minéral, remarquable par sa couleur verte semble être une chlorite du groupe des délessites). En maints endroits, il existe de grandes plages de calcite (d'où une légère effervescence à l'acide). Mais la diagnose de grauwacke est due à l'existence de nombreux débris indéterminables de roches volcaniques et à celle de cristaux d'amphibole. La coloration gris verdâtre ou gris bleuâtre de ces roches est souvent atténuée par une teinte brune donnée par de la limonite (ou de la goethite en nid).

S'intercalent dans toutes ces roches, de nombreux bancs irréguliers de schistes argileux et argilo-micacés, à fins débris anguleux de quartz et de plagioclases; les lamelles de muscovite et de biotite chloritisée s'orientent souvent suivant une direction privilégiée. Le fond est séariciteux et chloriteux. Des cristaux automorphes de pyrite altérée en gypse, de petits remplissages de calcite se remarquent. Ces schistes présentent parfois une microstratification entrecroisée et un granoclassement dans les zones les plus grossières. Leur couleur varie du brun rouge au noir, .en passant par le gris verdâtre.

Jusqu'à maintenant aucune pélite calcaire n'a été observée et les schistes à empreintes de *Posidonomya* et de Goniatites (gisement de Sobrado, par exemple) ne peuvent être attribués à des grauwackes de décalcification de type ardennais.

Toutes ces roches sédimentaires détritiques sont recoupées de filons ou de filonnets de quartz très finement recristallisé.

Il faut signaler aussi, dans cette Serra de Grândola, un filon formé par une roche éruptive, très altérée, dont l'affleurement est visible sur la route de Grândola à Melides (N. 261-2), dont les coordonnées sont $x = 160$, $y = 133{,}9$. Cette roche, dont M. J. Thiébaut a bien voulu examiner les principaux constituants, se présente comme une syénite : en effet, s'y remarquent de l'albite, de l'andésine, de la biotite fort altérée et un ferromagnésien (sans doute une amphibole) épigénisé en un mélange de serpentine, de leucoxène, de chlorite et d'un peu de zoïsite. Il existe aussi de nombreuses baguettes d'apatite et de rares aiguilles de rutile. L'albite (cristallisée en échiquier) n'est pas primaire et résulte peut-être de l'albitisation d'une orthose. Ce dernier phénomène, la formation de chlorite, de serpentine, et de leucoxène résultent d'une phase hydrothermale tardive ou secondaire; de même, l'apparition d'apatite traduit le rôle de la pneumatolyse dans la genèse de la roche originelle.

Outre ces roches éruptives accidentelles, dont les gisements ne sont probablement pas tous connus, la série du Dinantien se trouve formée d'une alternance de grès pélitiques marins (grauwackes proprement dites, avec quelques accidents siliceux : quartzites, grès feldspathiques, grès micacés) et de schistes argileux ou argilo-micacés. Cette formation résulte donc du démantèlement d'un continent émergé ; ce trait paléogéographique fut mis en évidence par C. Teixeira ( ), mais une étude cartographique très détaillée permettra certainement de la préciser.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) *Comptes rendus*, 170, 1920, p. 116.

(2) *Publ. Museu e Lab. Min. e Geol. Fac. Sc. Pôrto*, 2e série, 30, 1943, p. 1-18.

( ) *O Antracolitico Continental Português* (*Thèse*, Pôrto, 1944).

( ) *Comm. Serv. Geol. Portugal*, Lisboa, 10, 1914, p. 1-21.

(*Laboratoire de Géologie de la Sorbonne, Paris.*)

GÉOLOGIE. — *Observations sur le Paléozoïque plissé et métamorphique du Nord du Sénégal oriental.* Note (*) de MM. **Jean-Pierre Bassot** et **Jacques Delpy**, présentée par M. Pierre Pruvost.

Dans le Sénégal oriental, la série stratigraphique du « Falémien » montre qu'il ne s'agit que de Cambro-Ordovicien plissé. Plus à l'Ouest cette série devient métamorphique, montrant qu'une partie au moins attribuée au « Birrimien » doit être rattachée au Paléozoïque. Le Cambrien de cette région peut montrer des faciès volcano-sédimentaires.

La coupe du Kodan, grand marigot affluent de la Falémé au Sud de Kidira, permet de voir la structure du Falémien : il s'agit d'un synclinorium allongé Nord-Sud, prolongement de la bande orientale falémienne de Dalafi-Tiankoye étudiée par J. P. Bassot ([1]). Ici aussi, les formations, à peine ondulées à l'Est de la Falémé, se plissent de plus en plus vers l'Ouest pour aboutir à des plis isoclinaux à très fort pendage Ouest.

Cette coupe, complétée par la coupe classique de la carrière de Kidira, permet de donner la succession stratigraphique (du haut en bas) :

f. Grès blancs.
e. Grès rouges grossiers cataclastiques en gros bancs, vers la base ces grès deviennent plus fins et leurs bancs plus minces.
d. Argilites et pélites, avec passées de grès.
c. Jaspes et pélites (avec des bancs de calcaires).
b. Dolomie à barytine.
a. Tillite.

La comparaison de cette série avec celles établies, soit en Mauritanie ([2]), ([3]), soit au Sénégal immédiatement au Sud ([1]), ([4]). permet d'attribuer cette série au Primaire et particulièrement les grès du Boundou (formations *e* et *f*) aux grès cambro-ordoviciens tectonisés, comme en Mauritanie ([5]).

Les pélites de la formation *d* continuent à affleurer vers l'Ouest, mais l'intensité du plissement est telle qu'on ne peut même plus retrouver les axes des plis déversés, et qu'elles affleurent comme une série monoclinale à pendage Ouest très fort. Les puissances qu'une telle hypothèse impliquerait sont trop fortes et l'on doit interpréter cette structure comme la poursuite des plis isoclinaux reconnus plus à l'Est. Les roches sont de plus en plus modifiées, pour aboutir dans la partie la plus occidentale, vers Youpé Amadi, aux véritables séricitoschistes attribués auparavant au Birrimien. Les bancs de grès interstratifiés, ainsi que les formations supérieures, perdent leur aspect cataclastique désordonné et prennent un aspect étiré et deviennent enfin nettement orientés. Plus à l'Ouest, les grès orientés sont recristallisés, injectés de quartz et passent aux quartzites de Bakel typiques. Le Birrimien du Sénégal oriental, tel que l'a défini

L. Renaud (6) comprend bien du Cambro-Ordovicien métamorphique, comme celui de la Mauritanie (7), (8), (9).

Un peu plus au Nord, sur la route Kidira-Bakel, une nouvelle formation prend une extension considérable : ce sont les jaspes rouges, auparavant placés au sommet du Falémien (10). Nous les avons toujours observés sous les grès c et remplaçant tout ou partie du Cambrien inférieur (formations a et b). Ils sont associés à des roches volcaniques et pyroclastiques (laves, grauwackes et tufs).

On retrouve ici le fait nouveau mis en évidence par J. P. Bassot (1) au Sud-Est du Sénégal : la présence d'un complexe volcano-sédimentaire dans le Cambrien inférieur, avec des roches siliceuses associées à des laves sous-marines.

(1) J.-P. Bassot, *Comptes rendus*, 251, 1960 (à paraître).

(2) C. Bense, *Bull. Soc. géol. Fr.*, 1, n° 2, 1959, p. 128-131.

(3) J. Delpy, *loc. cit.*, (7), 1, n° 2, 1959, p. 123-127.

(4) M. Arnould, J. M. Ayme et R. Guillaume, *Bull. Soc. géol. Fr.* (sous presse).

(5) J. Delpy, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 1534.

(6) L. Renaud, *Le Précambrien du Sud-Ouest de la Mauritanie et du Sénégal Oriental* (*Thèse*, Université de Clermont-Ferrand, 1958).

(7) J. Delpy, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 1374.

(8) J. Delpy, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3035.

(9) J. P. Bassot et J. Delpy, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3206.

(10) *Carte géologique au 1/1 000 000e Dakar-Est*, avec notice, Dakar, 1943.

(*Bureau de Recherches géologiques et minières, Dakar.*)

GÉOLOGIE. — *Présence des genres* Ampyx *et* Plumulites *dans le Gothlandien de la bordure nord-est du Tassili N' Adjer : Adrar Ikohahoène (bassin de Fort de Polignac).* Note (*) de M. **Jacques Barlier**, M[lle] **Dorothée Le Maître** et M. **Philippe Rogier**, présentée par M. Gaston Delépine.

Au cours d'une mission saharienne, une coupe a été relevée par deux d'entre nous (J. B. et P. R.) dans le Gothlandien de la bordure nord-est du Tassili N' Adjer, à l'Adrar Ikohahoène, à 40 km au Sud de Fort Tarat (coord. : 25° 50′, 9° 12′).

L'Adrar Ikohahoène est une gara argileuse couronnée par une falaise gréseuse. On y peut suivre la série gothlandienne comprise entre le toit des grès définis comme Cambro-Ordovicien et la base des « grès ruiniformes » du Dévonien inférieur.

La coupe, de bas en haut, présente la succession suivante :

1. Argiles indurées, compactes, avec quelques passées silteuses; *e* : 65 m.
2. Alternance de silstones et d'argiles silteuses; *e* : 30 m.
3. Argiles indurées, légèrement micacées; *e* : 167 m.
4. Ensemble argilo-gréseux, micacé, à nombreuses traces d'organismes (pistes de vers ?); *e* : 40 m.
5. Grès ferrugineux à grain moyen ou grossier; *e* : 30 m.
6. Enfin alternance de silstones argileux et de grès fins; *e* : 100 m. Sur ceux-ci reposent, sans *discordance apparente*, les « grès ruiniformes » du Dévonien inférieur.

Ainsi, le Gothlandien de l'Adrar Ikohahoène atteint une épaisseur totale d'environ 430 m. Seule, la série inférieure argileuse correspondant aux termes 1, 2 et 3 de la coupe a fourni une belle faune de Graptolithes qui a permis de la dater avec précision. Il s'agit de Llandovery moyen et supérieur. Mais les argiles indurées basales ont donné : *Climacograptus rectangularis* Mc. Coy, *C. scalaris* var. *normalis* Lapw., *Monograptus incommodus* Tornq., *Monograptus cyphus* Lapw. (¹) espèces qui indiquent le Llandovery inférieur-extrême base du Llandovery moyen, *M. cyphus* de la zone 18 montant, d'après Miss Elles dans la zone 19 *a*.

De plus, entre les 25 et 43 premiers mètres des mêmes argiles indurées basales, il a été reconnu quelques Brachiopodes Orthisidés, de nombreux Trilobites appartenant tous au genre « *Ampyx* » et des plaques de Turrilépadidés : des *Plumulites*. Ces deux genres n'avaient encore jamais été signalés en Afrique du Nord et au Sahara, le genre *Ampyx* seul était connu au Fezzan occidental (²). Nous donnons ci-après les caractères de ces spécimens qui seront figurés ailleurs.

1. *Ampyx.* — En l'état actuel de nos connaissances, la famille des Raphiophoridæ comprend outre le genre *Ampyx* les deux autres genres : *Raphiophorus* et *Lonchodomas*. D'après Whittington, le genre Radiophorus ne doit être employé que pour le génotype *R. setirostris* ([illegible]). Le genre *Lonchodomas* ne paraissant pas devoir s'appliquer aux Trilobites sahariens, nous les rapportons provisoirement au genre *Ampyx* bien que les céphalothorax étudiés présentent des affinités avec celui de *R. setirostris*.

Aucun des exemplaires trouvés ne présente les trois parties du corps en connexion; toutes celles-ci sont désarticulées, les anneaux thoraciques dissociés; pas plus de trois n'ont été trouvés réunis. Il n'est donc pas possible de connaître le nombre des anneaux thoraciques.

Les céphalothorax, beaucoup plus nombreux que les pygidia, sont pour la plupart complets; une dizaine ont été examinés. La forme générale est celle d'un triangle isocèle. Il n'y a pas de limbe visible mais la partie arrière du céphalothorax est bordée sur toute sa largeur d'un bourrelet très prononcé situé dans le prolongement de l'anneau occipital. La glabelle ovoïde, renflée, surplombe les joues et se rétrécit à l'arrière en avant du sillon occipital; elle porte deux à trois paires de sillons latéraux; le lobe frontal se termine par une épine en partie brisée mais dont la longueur était au moins égale à celle de la glabelle. Les joues triangulaires, convexes, sont bien délimitées. Les pointes génales sont brisées et la ligne de suture faciale n'a pas été observée. Les plus grands spécimens mesurent 4 à 5 mm de largeur maximale. La longueur de la glabelle, sans la pointe frontale, varie de 2 à 2,5 mm, sa largeur de 1 à 1,5 mm.

Thorax. — Celui-ci est représenté par des anneaux dissociés, dont la largeur maximale est de 4 à 5 mm, celle de l'axe de 1 mm. Les plèvres sont creusées d'un sillon large et assez profond qui les divise en deux parties inégales.

Pygidium. — Un pygidium complet n'a pas plus de 4 mm de largeur maximale et 1 mm de hauteur. L'axe étant usé en sa partie terminale, trois anneaux seulement ont pu être dénombrés. Les plèvres portent deux sillons profonds, un peu arqués, délimitant une côte médiane très accentuée.

La petitesse de ces fossiles, la dislocation des diverses parties de la carapace, font penser qu'il s'agit de mues correspondant à des stades jeunes.

Ampyx balboi Desio du Fezzan occidental présente un céphalothorax dont les dimensions et les caractères sont très voisins de celui des formes algériennes, mais le thorax et le pygidium de cette espèce sont inconnus. D'autre part, la vérification de certains caractères s'avérant impossible sur la figuration de *A. balboi* nous ne pouvons identifier nos spécimens à l'espèce libyenne.

2. *Plumulites.* — Des plaques de *Turrilépadidés* se rapportant au genre *Plumulites*, accompagnent le Trilobite *Ampyx*. Toutes ces plaques ont une forme triangulaire pointue à l'avant, et leur hauteur varie de 2,6 à 3,3 mm.

Elles sont divisées en deux parties inégales par une carène longitudinale non médiane. L'ornementation est parfaitement conservée.

Conclusions. — De ce qui précède, on peut déduire :

1° Au point de vue *stratigraphique*. A l'Adrar Ikohahoène le Gothlandien est représenté par le Llandovery moyen et supérieur. La présence du Llandovery inférieur n'est pas absolument certaine. Toutefois ce niveau existe — tout au moins son extrême sommet —, comme autorise à le penser la présence de : *Climacograptus rectangularis*, *C. scalaris* var. *normalis*, jointe à celle de *Monograptus incommodus* et *M. cyphus*.

2° Au point de vue *paléontologique*, le genre *Plumulites* largement répandu en Europe et Amérique du Nord était encore inconnu en Afrique. Sa présence à l'Adrar Ikohahoène complète ce que nous savions de l'extension géographique connue de ce Turrilépadidé.

De même la présence du genre *Ampyx* dans le Llandovery inférieur — extrême base du Llandovery moyen est maintenant reconnue en Algérie. En 1940, Desio signalait sa découverte au Fezzan occidental. *A. balboi* a été recueilli par cet auteur sur la piste automobile de Serdelès à Gat, à 45 km du fort. Il s'y trouve semble-t-il au même niveau stratigraphique qu'à L'Adrar Ikohahoène associé à « *Calymene* » *blumenbachi* et *Climacograptus libycus* Desio (= *Climacograptus* cf. *innotatus* Flamand).

Le genre *Ampyx* est donc à présent connu en deux points de l'Afrique du Nord, de part et d'autre de la frontière libyenne, dans des formations bien datées stratigraphiquement.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) Déterminations de Mlle Willefert.

(2) A. Desio, *Ann. Mus. Stora Naturale*, série P, n° 19, 1940, p. 41.

(3) H. B. Whittington, *J. Paleont.*, 24, n° 5, 1950, p. 553.

SÉDIMENTOLOGIE. — *Transport des matériaux meubles sur les fonds océaniques.* Note de M. **Nicolas OuliaNoff**, présentée par M. Paul Fallot.

En admettant qu'un certain rôle moteur-propulseur des sédiments revient aux « courants de turbidité » sporadiques, l'auteur évoque les « couloirs oscillants » utilisés pour le transport industriel des matériaux et estime l'effet de ces courants comme tout à fait secondaire comparé aux effets de la vibration perpétuelle de la croûte terrestre due aux séismes et microséismes.

La plus grande partie des roches sédimentaires se forme sur les fonds océaniques aux dépens des matériaux terrigènes.

Les moyens de transport naturel des matériaux terrigènes sur les continents et dans la zone littorale des mers sont déjà bien étudiés (torrents, rivières, vagues, marées). Tout autrement se présente le problème du transport du matériel terrigène pondérable vers le large des océans [Twenhofel ([1])].

« Dans de très nombreuses régions des océans... on « carotte » des sables alors qu'on devrait trouver, soit des formations pélagiques, soit l'argile rouge.... L'explication de cette arrivée de sables peu profonds était autrefois impossible.... Il semble qu'il soit normal d'attribuer ces sables aux « courants de turbidité » [J. Bourcart ([2])]. »

Un exposé succinct concernant « les courants de turbidité » a été publié récemment par B. Heezen ([3]), ne retenant qu'une seule démonstration de leur importance. Ce « Full-Scale Experiment » [Heezen et Ewing ([3])], devenu pour ainsi dire « classique » et souvent cité comme argument irréfutable en faveur de l'hypothèse, est le cas du séisme des Grand Banks (1929) qui aurait provoqué un « courant de turbidité ». On présume que, partant des Grand Banks, il se serait manifesté sur une distance de plus de 800 km (450 milles). Les vitesses ont été *calculées* (Heezen et Ewing, 1952) en tenant compte des moments successifs de rupture des câbles télégraphiques. Ces vitesses ainsi calculées dépassent, et de loin, toutes celles qu'on *observe* directement sur les rivières et les torrents les plus impétueux descendants les pentes raides. Or, l'eau mise en mouvement par un accident local (éboulement sous-marin) est rapidement dispersée, et sa force vive amortie. D'autre part, le courant sous-marin largement étalé doit vaincre l'important freinage de la masse d'eau ambiante.

Les calculs des auteurs précités ne sont non plus acceptables au point de vue logique. En effet : on se propose de démontrer la formation de l'énorme et puissant « courant de turbidité » et l'on en calcule les variations de vitesse en admettant comme une vérité déjà acquise que c'était justement ce même courant qui avait produit la rupture successive des câbles.

De même, la comparaison très frappante (Heezen, 1959) des « courants de turbidité » avec les avalanches dans les montagnes est bien malheureuse. En effet, les avalanches poudreuses montrent justement à quel point s'épuise l'énergie du courant d'air surchargé de particules de neige et de glace et combien courtes sont les distances que les avalanches sont capables de parcourir.

Je me permets de faire, ici, une digression dans le domaine de la technique. On étudie, ces derniers temps, de plus en plus attentivement, les effets des vibrations utilisables pour diverses applications industrielles. Mais ce qui nous intéresse ici, c'est l'utilisation des vibrations pour le transport des matériaux meubles dans les mines, carrières, usines, fabriques, magasins, etc. En principe, le transport naturel ininterrompu du matériau est simple. Il est inévitablement basé sur l'effet de la pesanteur. Mais pour que le matériel se déplace par la seule pesanteur sur une distance de quelque 200 m par exemple, il faut le laisser s'écouler d'une hauteur de 100 m au moins. C'est à juste raison que les « couloirs oscillants » introduisant l'effet des vibrations pour le transport des matériaux peuvent être considérés comme une véritable révolution dans le domaine technique. En effet, on arrive à réduire la pente des couloirs oscillants à 2° tout en leur conservant un grand rendement.

L'expérience a montré qu'on assure un débit moyen de 50 à 80 t/h pour un transport sur une longueur de 150-200 m d'un couloir dont l'inclinaison ne dépasse pas 4 %. La simple décomposition du vecteur-pesanteur en deux (frottement et libre écoulement) permet de saisir l'effet de la vibration sur le déplacement du matériel meuble sur une pente de faible déclivité.

Les « couloirs vibrants » n'occupent éventuellement qu'une infime partie de la surface des installations industrielles. Mais le grand « chantier » de la sédimentation marine embrassant les immenses surfaces des fonds océaniques, est tout entier soumis à une vibration générale et cette dernière ne s'arrête jamais. Cette vibration est extrêmement complexe car elle résulte de l'interférence de nombreuses vibrations partielles provenant des séismes et des microséismes. Les quantités d'énergie mises en jeu par ces diverses causes sont énormes. R. Daly ([6]) estime que l'énergie du séisme de Californie de 1906 suffirait pour élever 3 km³ de roche à une hauteur de près de 2 km, et que celui du Turkestan (1911) a été 26 fois plus puissant. Si ce sont là des cas exceptionnels, en général les séismes moyens sont très fréquents. B. Howell (1959) ([7]) rappelle que Gutenberg et Richter, encore en 1949, avaient calculé que les observatoires existants enregistrent chaque année 150 000 séismes naturels, mais qu'en réalité il en faut admettre un million.

La question se pose évidemment de savoir si les vibrations de la croûte terrestre sont comparables à celles qu'on réalise en pratique dans les « tables à secousses » ou les « couloirs oscillants » ? Il serait inutile de

chercher une comparaison *numérique* des amplitudes ou des fréquences. Les effets de ces facteurs dépendent entièrement du temps.

De même, il est impossible de calculer, en l'état actuel de nos connaissances des seismes et des microséismes, quelle part revient à chacun des deux groupes de vibration de la croûte terrestre dans leur rôle de moteurs assurant le transport, sur le fond océanique, des matériaux sédimentaires.

Néanmoins, ce qui précède nous amène à la conclusion générale suivante :

Divers moteurs, dans la nature, assurent le déplacement des matériaux sédimentaires sur les fonds océaniques. Cependant, le seul qui s'exerce dans le monde entier, le seul qui se trouve en activité perpétuelle, le seul dont la puissance dépasse de beaucoup toutes les autres, est celui qui résulte de l'intégration, à chaque moment donné, de multiples vibrations qui agitent sans cesse la croûte terrestre, y compris, bien entendu, les fonds océaniques.

(1) TWENHOFEL, *Principles of sedimentation*, 1939.
(2) J. BOURCART, *Problèmes de géologie sous-marine*, 1958.
(3) B. HEEZEN, *Geoph. J. Roy. Astron. Soc.*, 2, 1959, p. 143.
(4) PH. KUENEN, *Marine Geology*, 1950.
(5) B. HEEZEN et M. EWING, *Amer. J. Sc.*, 250, 1952, p. 849.
(6) R. DALY, *Our mobil Earth*, 1925.
(7) B. HOWELL Jr., *Introduction to Geophysics*, 1959.

PHYSIQUE DU GLOBE. — *Sur la théorie de Holmberg de l'entretien de la rotation terrestre.* Note de M. **Evry Schatzmann**, présentée par M. André Danjon.

On calcule le temps de relaxation de la rotation terrestre dans le couplage avec l'onde semi-diurne de l'atmosphère terrestre. Ce temps est de l'ordre de 3.10^5 ans.

Nous supposons que l'amplitude q de l'oscillation de l'atmosphère terrestre (onde semi-diurne) est donnée par une équation de la forme

$$\ddot{q} - K\dot{q} + \omega_0^2 q = Q\cos\omega t, \tag{1}$$

où $Q\cos\omega t$ est l'amplitude de la force généralisée, de période ω, due à la rotation de la Terre.

En même temps, la Terre est ralentie par friction due aux marées océaniques et l'on peut poser

$$\frac{d}{dt}\frac{1}{2}I\omega^2 = S\omega - \text{Res}, \tag{2}$$

où $S\omega$ est le terme de friction et Res est le terme d'entretien dû à l'amplitude q.

La solution de l'équation (1) est

$$q = \frac{Q}{(\omega_0^2-\omega^2)^2+K^2\omega^2}\{(\omega_0^2-\omega^2)\cos\omega t - K\omega\sin\omega t\}. \tag{3}$$

On en déduit le déplacement élémentaire, en phase avec l'amplitude $Q\cos\omega t$ de la force

$$dq = \frac{-K\cos\omega t\;\omega\,dt\,Q}{(\omega_0^2-\omega^2)^2+K^2\omega^2} \tag{4}$$

et le travail de la force Q sur une période

$$\oint Q\,dq = \frac{-\pi K\omega Q}{(\omega_0^2-\omega^2)^2+K^2\omega^2}. \tag{5}$$

On peut donc écrire l'équation (2) sous la forme

$$I\omega_0\frac{d\omega}{dt} = S\omega - \frac{\pi KQ\omega}{K^2\omega^2+(\omega_0^2-\omega^2)^2}. \tag{6}$$

Soit ω_1 la racine de l'équation $d\omega/dt = 0$:

$$S\omega_1 = \frac{\pi KQ\omega_1}{K^2\omega_1^2+(\omega_0^2-\omega_1^2)^2}.$$

On a donc la relation

$$K^2\omega_1^2+(\omega_0^2-\omega_1^2)^2 = \frac{\pi KQ}{S} \tag{7}$$

et la solution approchée

$$\omega_1^2 - \omega_0^2 = \omega_0^2 - \frac{\pi Q}{KS} - \frac{1}{K^2}\left(\omega_0^2 - \frac{\pi Q}{KS}\right)^2. \tag{8}$$

On développe maintenant au voisinage de ω_1 l'équation (6). On a

$$I\omega_1 \frac{d\omega}{dt} = 2(\omega - \omega_1)\left(1 + \frac{\pi Q}{K^3 S} - \frac{3\omega_0^2}{K^2}\right)S. \tag{9}$$

Compte tenu de l'équation (8), on voit que le terme prépondérant est le terme négatif

$$\frac{\pi Q}{K^3 S} - \frac{3\omega_0^2}{K^2} \simeq -\frac{2\omega_0^2}{K^2},$$

d'où l'on tire

$$I\omega_1 \frac{d\omega}{dt} = -\frac{4\omega_0^2}{K^2} S(\omega - \omega_1). \tag{10}$$

On notera que $I\omega_1/S = \tau$ est l'échelle de temps de la friction des marées océaniques, estimé par Jeffreys à 10^9 ans.

Si l'on compare maintenant l'amplitude de l'onde semi-diurne à l'amplitude q' qu'elle aurait loin de la résonance, on trouve

$$\frac{q}{q'} = \frac{\omega_0^2}{\left[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + K^2\omega^2\right]^{\frac{1}{2}}} = \lambda, \tag{11}$$

où λ est de l'ordre de 30. On calcule alors

$$\omega_1^2 - \omega_0^2 = \omega_0^2 - \frac{\omega_0}{K^2\lambda^2}, \tag{12}$$

en supposant ω_1 proche de ω_0. Ceci implique donc

$$\lambda^2 \text{ proche de } \frac{\omega_0}{K^2},$$

d'où par conséquent, d'après les valeurs données dans l'hydrodynamique de Lamb,

$$\frac{\omega_0}{K^2} \simeq 760. \tag{13}$$

Si l'on pose :

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{\omega - \omega_1}{\tau'}, \tag{14}$$

on calcule alors, compte tenu de la valeur de $I\omega_1/S = \tau$, la valeur

$$\tau' = 3{,}3 \cdot 10^5 \text{ ans}. \tag{15}$$

Le mécanisme de Holmberg d'entretien de la période de rotation terrestre ne pourrait agir rapidement que si le rapport λ des amplitudes était beaucoup plus grand, ce qui paraît exclu.

Les termes du second ordre trouvés par Danjon dans la variation de la période de rotation terrestre ne ressortent donc pas de ce mécanisme.

(*) Séance du 20 juin 1960.

GÉOPHYSIQUE-GLACIOLOGIE. — *Mesure des mouvements d'un névé par prospection magnétique.* Note (*) de M. **Louis Lliboutry**, transmise par M. Léon Moret.

On peut suivre le tassement et le mouvement du névé à l'aide de tubes d'acier aimanté enfouis dans des trous verticaux. Des mesures avec une BMZ permettent en effet de déterminer très simplement le lieu et la profondeur à laquelle se trouvent ces tubes, ainsi que leur angle avec la verticale.

Pour connaître en détail l'alimentation d'un grand glacier nous avons été amené, entre autres études, à mesurer le tassement et le fluage du névé. En particulier le fluage du névé fausserait, si l'on n'en tenait pas compte, les mesures du fluage du glacier sous-jacent, partant les estimations de l'épaisseur du glacier et du débit de glace à la sortie du bassin d'accumulation. Ce fluage du névé est important ([1]). Il se fait d'ailleurs dans la direction de la pente superficielle locale, alors que le fluage du glacier se fait dans la direction de la pente générale.

Le champ d'expérimentation est le haut de la Vallée Blanche, bassin peu incliné de 1 km² environ, situé vers 3 500 m, au pied du laboratoire de l'Aiguille du Midi. L'accumulation hivernale nette y est de l'ordre de 4 ou 5 m de neige, dont la moitié fond au cours de l'été.

Des balises de 8 m de long, restant émergées d'une année à l'autre, ne peuvent suivre le mouvement du névé sur toute leur hauteur, car une verticale matérialisée dans le névé devient au bout d'un an une ligne très incurvée. Pour une mesure précise, il faut enfouir des témoins, et les rechercher ensuite en creusant un puits de 10 m de profondeur. Pour éviter ces excavations, et pouvoir faire des mesures en de nombreux points du névé, nous avons été amené à enfouir dans le névé des aimants, et à les rechercher ensuite par prospection magnétique.

Les aimants sont des tubes d'acier ordinaire de 7,5 à 10 cm de diamètre, 2 m de long environ, fermés aux deux extrémités de façon que leur densité globale ne diffère pas trop de la densité du névé et à éviter un mouvement différentiel. Ils ont été enfouis à l'automne 1959, dans des trous verticaux forés avec une sonde carotteuse modèle SIPRE, obligeamment mise à notre disposition par le Sous-Comité Antarctique français de l'A. G. I. Ces trous étaient à cette occasion de 5 m, de façon à connaître dès le printemps suivant la sensibilité de cette méthode. MM. Lesbre et Luscan, qui se sont chargés de cette opération, ont auparavant déterminé les moments magnétiques $\mathcal{M}$ à l'aide d'un fluxmètre Grassot.

En mai 1960, les anciennes positions des aimants ont été retrouvées par triangulation, deux théodolites étant placés simultanément aux extrémités de la base de 79 m voisine du laboratoire. A partir de là j'ai effectué une rapide prospection magnétique à l'aide d'une BMZ montée sur un

traîneau léger amagnétique. Elle a permis de déterminer le lieu, une vingtaine de mètres en aval, où l'anomalie sur la composante verticale Z du champ magnétique était maximale. Puis, dans la direction de la plus grande pente locale, sur une quarantaine de mètres, un profil magnétique a été établi.

Le long de ce trajet, la pente est uniforme et faible, si bien qu'on peut confondre l'anomalie ΔZ sur Z avec la composante le long de Oz, perpendiculaire à la surface, du champ créé par l'aimant. En assimilant cet aimant à un doublet, situé en O dans le plan xOz et faisant un angle α avec Oz, en posant $\operatorname{tg}\alpha = t$ et $x/z = \xi$, l'anomalie le long du profil ($y = 0$, $z = \text{Cte}$) vaut

$$\Delta Z = \frac{2\mathfrak{M}}{z^3}(1+t^2)^{-\frac{1}{2}}(1+\xi^2)^{-\frac{5}{2}}\left(1 - \frac{3t}{2}\xi - \frac{\xi^2}{2}\right).$$

Si l'on porte cette fonction sur un graphique et l'on fait coïncider les maximums (dont l'abscisse est directement accessible à l'expérience) on s'aperçoit que, x étant positif vers l'aval et l'aimant penché vers l'aval, ΔZ juste en amont du maximum est pratiquement indépendant de l'inclinaison $t = \operatorname{tg}\alpha$ de l'aimant. On pourra donc évaluer z à 2 % près par

$$Z_m - Z_{-1} = \frac{1,84\,\mathfrak{M}}{z^3},$$

Z_m, champ vertical là où l'anomalie est maximale;
Z_{-1}, champ vertical à une distance du maximum, vers l'amont, environ égale à z.

L'allure de l'anomalie vers l'aval permet alors de déterminer α. Si l'on appelle Z_1 le champ vertical à une distance du maximum vers l'aval égale à z, on calculera

$$\frac{Z_1 - Z_{-1}}{Z_m - Z_{-1}} = f(\alpha).$$

α étant connu, l'abscisse exacte de l'aimant est alors déterminée, ainsi qu'une meilleure évaluation de z.

En admettant des mesures à 5 γ près, et des moments magnétiques de $0,5.10^6$ u. é. m., pour des aimants enfouis à 8 m, z est déterminé à 5 cm près, α à 5° près et l'abscisse de l'aimant à un demi-mètre près. On dispose donc d'une technique bon marché et rapide permettant de suivre les mouvements du névé en de nombreux points jusqu'à une dizaine de mètres de profondeur. Dans la mesure de grandeurs naturelles essentiellement fluctuantes une telle technique est préférable à toute autre plus précise mais que le coût ou la durée rendraient inapplicable en de nombreux points simultanément.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) M. M. Miller, *Assemblée Générale de l'U. G. G. I. de Toronto*, 4, 1957, p. 437-452.

MAGNÉTISME TERRESTRE. — *Magnétisme terrestre à Port-aux-Français (îles Kerguelen). Premiers résultats (1er octobre 1957 au 28 février 1958).* Note (*) de M. **Marc Bockel**, transmise par M. Charles Maurain.

Le Comité National pour l'A. G. I., ayant décidé d'élargir à l'occasion de cette manifestation internationale le programme de la base scientifique de Port-aux-Français, chef-lieu de l'archipel des Kerguelen, nous fûmes chargé d'installer une station d'étude classique du magnétisme terrestre en ce point du globe. Étaient à notre disposition un instrument La Cour d'enregistrement lent (déroulement : 15,5 mm/h) et les appareils de mesure absolue : théodolite Chasselon, Q. H. M., B. M. Z., inclinomètre Cambridge.

Les résultats de cette étude portent sur la période des premiers enregistrements à partir du 1er octobre 1957 jusqu'au 28 février 1958.

Nous donnerons ici la valeur moyenne des éléments du champ magnétique déterminé à Port-aux-Français et quelques indications sur les principales particularités de ce champ.

A Port-aux-Français, dont les coordonnées géographiques sont 49°21′ Sud, 70°12′ Est et les coordonnées géomagnétiques 56°5 Sud, 127°8 Est, le champ moyen durant le mois de janvier 1958 se décompose de la manière suivante : 0,18710 γ pour la composante horizontale, 0,44000 γ pour la composante verticale et 47°38′ de déclinaison Ouest.

Si l'on considère la variation diurne des moyennes horaires des cinq jours les plus calmes du mois (variation S_q de Chapman) pour la composante horizontale on est frappé par sa forte amplitude (de l'ordre de 80 à 100 γ et atteignant même la valeur de 115 γ en novembre 1957). La variation S_q de la composante verticale est, par contre, très faible (son amplitude est en moyenne de 15 γ) et de forme peu régulière (les heures de ses maximums et de ses minimums diffèrent sensiblement d'un mois à l'autre). Il faut encore remarquer que la variation diurne des valeurs, différence des moyennes horaires de tous les jours du mois avec les cinq jours les plus calmes (variation SD de Chapman qui peut définir un champ de perturbation) est à peu près de même amplitude sur les composantes horizontale et verticale.

L'activité magnétique de jour caractéristique des régions polaires [activité J de P. N. Mayaud (1) est présente aux Kerguelen]. Elle a pu être mise en évidence par des critères d'ordre morphologique (les phénomènes qui la constituent sont en général plus rapides que ceux, caractéristiques des régions tempérées, qui relèvent de l'activité de nuit) et par une étude quantitative qui fit apparaître un maximum secondaire d'activité magnétique se produisant l'après-midi. Ce maximum secondaire, et c'est le point aussi qui le distingue du maximum de nuit, présente sa plus forte amplitude au cœur de l'Été austral. Ainsi se trouvent confirmées sur un

cas limite, puisque la latitude de Port-aux-Français est relativement basse, les études de P. N. Mayaud qui prévoyait pour les stations situées en dehors du cercle auroral, en même temps qu'une atténuation progressive du maximum de jour, son décalage dans l'après-midi. Cette agitation de jour, d'autre part, a tendance à s'organiser en mouvements quasi sinusoïdaux de période 3 mm environ, auxquels se superposent généralement des pulsations pc de faible période visibles sur les magnétogrammes à déroulement rapide. Ces vibrations périodiques peuvent même, en certain cas (particulièrement en janvier) revêtir l'apparence de pulsations géantes (trains de pulsations de période 2 à 3 mm, s'amortissant rapidement). Il semblerait donc que ces pulsations géantes sont, par transition progressive, issues d'un phénomène permanent à savoir l'agitation de jour.

La fréquente apparition d'une baie de forme caractéristique, toujours liée à des phénomènes auroraux, peut constituer une troisième particularité du champ magnétique aux Kerguelen; elle survient généralement entre 21 h et 0 h T. U., c'est-à-dire entre 2 h et 5 h locales et dure en moyenne 2 ou 3 h; son sens est toujours celui d'une diminution en valeur absolue du champ en ses composantes horizontale et verticale; ses flancs sont raides, elle peut être simple ou bien divisée en deux ou trois replis par de grandes indentations; elle est, en tous cas, le siège de vibrations brusques et rapides, en dents de scie, qui ont un aspect caractéristique. Son amplitude est grande sur la composante horizontale, le plus souvent supérieure à 100 γ, elle peut dépasser 400 γ; elle est en général de deux à trois fois plus faible sur la composante verticale.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) P. N. Mayaud, *Terre Adélie, 1951-1952. Magnétisme terrestre*, fasc. II : *Activité magnétique dans les régions polaires*, Expéditions polaires françaises.

BIOCLIMATOLOGIE. — *Essai d'interprétation de la variation de la « constante psychrométrique »*. Note (*) de MM. **Roger-Jean Bouchet** et **Charles Riou**, transmise par M. Charles Maurain.

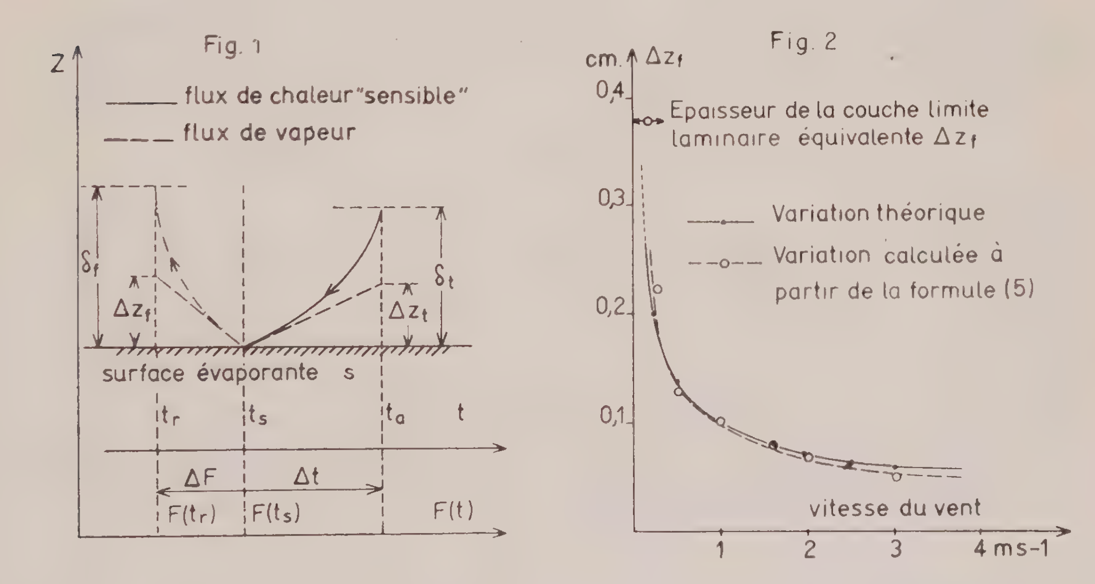
La variation de la « constante psychrométrique » peut s'expliquer par l'énergie parasite due au rayonnement net du thermomètre mouillé. Cet apport de chaleur affecte directement les mesures du point de rosée et permet de calculer l'épaisseur des couches limites équivalentes.

La formule psychrométrique qui dérive de la loi de Dalton est de la forme

$$f = \mathrm{F}(t_s) - \mathrm{KH}(t_a - t_s) \tag{1}$$

dans laquelle t_a et t_s désignent les températures des thermomètres sec et mouillé, f la tension de vapeur d'eau, F (t_s) la tension maximale de vapeur d'eau à la température t_s, H la pression atmosphérique et K la constante psychrométrique.

On sait que K varie suivant les conditions d'utilisation ([1]) et que pour l'établissement des tables psychrométriques on adopte deux valeurs différentes selon la ventilation.



Les différentes théories émises sur le psychromètre ne permettent pas d'expliquer cette variation de K. En effet, si l'on admet que l'énergie nécessaire à l'évaporation est fournie par le refroidissement de l'air qui s'humidifie, la température t_s devrait être indépendante de la vitesse du vent et K resterait constant. De même, si l'on utilise, au niveau de la couche limite, la constante de Bowen ou la notion de « thermodiffusion », on donnerait à K une valeur également constante et trop faible.

Pour résoudre cette contradiction, on a reconsidéré le problème en se plaçant à l'échelle de la « couche limite laminaire » et en faisant intervenir les échanges de chaleur par rayonnement entre le thermomètre mouillé et le milieu extérieur.

Considérons schématiquement une surface évaporante et ses différentes couches limites. Désignons par δ_f, δ_t, δ_v les couches limites laminaires relatives à la diffusion de la vapeur, à la conduction de la chaleur, à la vitesse du vent (*fig.* 1).

Le principe de la conservation de l'énergie permet d'écrire, en régime permanent, que la quantité d'énergie apportée à la surface par rayonnement et par conduction est égale à celle qui la quitte par rayonnement, conduction et évaporation.

Soient t_a, t_r, t_s les températures de l'air, du point de rosée et de la surface évaporante; T_a, T_r, T_s les températures absolues correspondantes, k et D les coefficients moléculaires de conductibilité thermique de l'air et de la diffusion de la vapeur d'eau. En admettant que le thermomètre mouillé et l'enceinte se comportent comme des corps noirs, on a par unité de surface :

$$(2)\qquad -\mathrm{LD}\left(\frac{df}{dz}\right)_s + k\left(\frac{d\mathrm{T}}{dz}\right)_s + \sigma \mathrm{T}_a^4 - \sigma \mathrm{T}_s^4 = 0$$

ou en multipliant par Δz_f que nous appellerons couche limite laminaire équivalente :

$$(3)\qquad -\mathrm{LD}\left(\frac{df}{dz}\right)_s \Delta z_f + k\left(\frac{d\mathrm{T}}{dz}\right)_s \Delta z_t \frac{\Delta z_f}{\Delta z_t} + (\sigma \mathrm{T}_a^4 - \sigma \mathrm{T}_s^4)\,\Delta z_f = 0$$

qui devient

$$(4)\qquad -\mathrm{LD}\,\Delta f + k\,\Delta t\,\frac{\Delta z_f}{\Delta z_t} + 4\sigma \mathrm{T}_m^3\,\Delta t\,\Delta z_f = 0 \qquad \text{avec}\quad \mathrm{T}_m = \frac{1}{2}(\mathrm{T}_a + \mathrm{T}_s)$$

ou encore

$$(5)\qquad \Delta f = \Delta t\left(\frac{k}{\mathrm{LD}}\,\frac{\Delta z_f}{\Delta z_t} + \frac{4\mathrm{T}_m^3}{\mathrm{LD}}\,\Delta z_f\right).$$

L'analogie des phénomènes dans les couches limites permet d'écrire

$$\frac{\Delta z_f}{\Delta z_t} = \frac{\delta_f}{\delta_t} = \sqrt{\frac{\mathrm{D}}{k}},$$

on aura donc

$$(6)\qquad \Delta f = \Delta t\left(\frac{1}{\mathrm{L}}\sqrt{\frac{k}{\mathrm{D}}} + \frac{4\sigma \mathrm{T}_m^3}{\mathrm{LD}}\,\Delta z_f\right)$$

qui n'est autre que l'équation psychrométrique avec

$$(7)\qquad \mathrm{KH} = \frac{1}{\mathrm{L}}\sqrt{\frac{k}{\mathrm{D}}} + \frac{4\sigma \mathrm{T}_m}{\mathrm{LD}}\,\Delta z_f.$$

Or Δz_f, à un coefficient de forme près, est une fonction de la vitesse du vent. Un rayonnement net, différent de zéro, du thermomètre mouillé entraîne donc une variation de la constante K avec la ventilation.

On peut également calculer à partir de la formule (7) et des valeurs expérimentales de KH la valeur statistique moyenne de l'épaisseur équivalente de la couche limite laminaire relative à la diffusion et suivre sa variation avec la vitesse du vent (*fig.* 2). On constate que cette courbe coïncide bien avec celle qu'on pouvait déduite des lois relatives à ce phénomène. L'hypothèse émise se trouve donc confirmée et les formules dérivées du type (3) peuvent fournir une valeur approchée de l'épaisseur des différentes couches limites qui constitue une donnée intéressante pour des études écologiques.

Ainsi le rayonnement net d'un thermomètre humide placé dans une enceinte telle qu'un abri météorologique ne doit pas être négligé. Cette source d'énergie complémentaire et parasite permet d'expliquer la variation de la constante psychrométrique selon notamment le coefficient de réflexion des parois, leur température et la vitesse du vent.

Il en résulte des erreurs qui peuvent être appréciables dans la détermination des points de rosée à faible vitesse du vent ou dans la définition d'un invariant thermodynamique des masses d'air.

En outre, la formule (3) permet de mieux comprendre les insuffisances de la formule psychrométrique dans les régions chaudes et sèches. En effet, si dans l'équation (7) on exprime les variations de k, L et D en fonction de la température, on a :

$$\text{(8)} \qquad K \# 590,10^{-6}(1 + 863.10^{-6}t_s) + 37,332\sigma T_m^3(1 - 1968.10^{-6}t_s)\,\Delta z_f.$$

On voit que, par vent faible, le second terme est loin d'être négligeable. L'approximation faite en rendant linéaire la fonction σT^4 devient de plus en plus fausse lorsque σT_m^3 s'élève et que T_s s'éloigne de T_a.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) L. PONTIER, *Journal des Recherches du C. N. R. S.*, 46, 1959, p. 1-8; T. KOPCEWICK, *Acta Geophysica Polonica*, 1, n° 2, Warszawa 1953, p. 82-93 (analysé par M. BERNEAU dans *La Météorologie*, 4e série, n° 39, 1955, p. 279).

(*Station Centrale de Bioclimatologie,*
Institut National de la Recherche Agronomique.)

PÉDOLOGIE. — *Note sur l'influence des variations du microclimat du sol dans les processus d'humification.* Note (*) de M. **Philippe Duchaufour**, présentée par M. Maurice Lemoigne.

On appelle souvent « humification » le processus d'évolution de la matière organique des sols qui conduit à la formation de composés colloïdaux, stables, contractant avec les argiles des liaisons plus ou moins étroites. Ce processus paraît passer, le plus souvent, par deux phases : il se forme d'abord des composés solubles, à petite molécule (essentiellement saccharides, acides aminés, polyphénols), qui évoluent ensuite par condensation et polymérisation, vers des composés à grosse molécule insolubles, les constituants de base étant sensiblement identiques aux différentes étapes de la transformation [Jacquin (1)]. La méthode de fractionnement de Tiurin (2) permet précisément de classer ces éléments par degré de polymérisation : acides fulviques libres (F_1), acides fulviques combinés (F_2), acides humiques bruns (H_1), acides humiques gris liés aux argiles par le calcium (H_2), acides humiques gris liés aux argiles par le fer et l'aluminium (H_3) : ces deux derniers termes correspondent sensiblement à un degré égal de polymérisation.

Or plusieurs auteurs ont insisté sur l'importance de la succession de phases d'anaérobiose, suivies de phases d'aérobiose, dans l'évolution de la matière organique [Bétrémieux (3), Anstett (4)]. Les produits solubles incolores, formés dans la première phase, s'insolubilisent et noircissent par polymérisation, au cours de la deuxième phase.

Il convient en outre d'attribuer une influence particulière à la *dessiccation* des colloïdes organiques, qui se produit dans certains cas en saison sèche : Rousseau (5) note un changement d'état complet des colloïdes humiques de certains Mull vosgiens en saison sèche : la perméabilité s'accroît considérablement et les agrégats desséchés perdent la faculté de se réhumecter rapidement et de gonfler à nouveau, quand les pluies surviennent. Or ces Mull sont très épais et très bien humifiés. On sait, d'autre part, que des extraits aqueux d'horizon A_0 de podzol, soumis à dessiccation, donnent naissance à des produits insolubles, qui ont les mêmes caractères que les acides humiques (6). Il semble donc que la dessiccation intervienne dans le processus de polymérisation et d'insolubilisation des composés organiques.

Ces observations conduisent à accorder une influence considérable aux alternances saisonnières de saturation par l'eau et de dessiccation des humus, dans les phénomènes d'humification : plus les contrastes sont accentués entre les états successifs de l'humus, plus le taux d'humification de la matière organique, d'une part, et le degré de polymérisation des colloïdes humiques, d'autre part, sont élevés.

Ces contrastes peuvent être liés, soit au climat général, soit à des conditions locales de stations.

L'influence du climat général est bien visible, si l'on compare des Mull formés en climat atlantique et ceux formés en climat continental : les premiers ne subissent que de faibles contrastes microclimatiques, ils sont rarement totalement saturés d'eau ou totalement desséchés : l'humification est faible, les horizons humifères sont peu épais (sols bruns forestiers). Les seconds, au contraire, sont soumis à de fortes oppositions entre les périodes hivernales et estivales; lors de la fonte des neiges, l'asphyxie est presque totale : l'humification est beaucoup plus poussée et les horizons humifères sont épais (sols gris forestiers d'U. R. S. S., sols gris-brun podzoliques du nord des U. S. A.).

Les chernozems sont, de tous les sols, ceux dont l'humification est la plus poussée, car ici deux facteurs favorables s'ajoutent : haute teneur en calcium, contrastes microclimatiques accentués, le sol étant, d'après Iarkov [7], complètement saturé d'eau, pendant une courte période à la fonte des neiges, et totalement desséché ensuite. Si on leur oppose les rendzines atlantiques, formées en conditions chimiques semblables, mais soumises à des variations microclimatiques beaucoup moins marquées, le taux d'humification et le degré de polymérisation sont nettement plus faibles dans ces dernières.

L'influence des conditions de station, provoquant des alternances d'hydromorphie et de dessiccation, peut être mise en évidence par l'étude des sols humiques hydromorphes (Gley à Anmoor), ayant évolué par abaissement de la nappe d'eau; ces sols, appelés Smonitza par Kubiena, offrent une analogie remarquable avec les chernozems, à tel point qu'ils sont souvent désignés, en Europe occidentale, par l'expression « pseudo-chernozems »; en effet, l'étude de leur humus, par la méthode Tiurin, montre l'analogie de sa composition avec celui des chernozems : taux d'humification élevé, dominance des acides humiques gris à forte polymérisation; sous l'influence de la dessiccation, l'Anmoor asphyxiant s'est transformé en Mull aéré, à structure grumeleuse très stable.

Composés humiques (% sol sec à l'air).

	Acides fulviques		Acides humiques			Taux d'humification (*)
	libres (F_1).	combinés (F_2).	bruns (H_1).	gris (H_2+H_3).	$\frac{\text{Ac. fulv.}}{\text{Ac. Hum.}}$.	
Rendzine pelouse (Loiret).....	0,4	1,1	0,4	0,7	1,4	52 %
Rendzine forestière (Meurthe-et-Moselle)................	1,1	0,4	0,3	1,3	0,94	49 »
Chernozem (Autriche)........	0,7	0,5	0,2	1,3	0,80	80 »
Chernozem (Ukraine)........	0,3	0,6	0,4	2,0	0,38	66 »
Pseudochernozem (Haut-Rhin).	0,3	0,5	0,2	1,8	0,40	88 »

(*) Rapport somme des composés humiques/matière organique totale.

En conclusion, les deux facteurs fondamentaux de l'humification paraissent être la richesse en calcium d'une part, les alternances microclimatiques, hydromorphie puis dessiccation, d'autre part. Ces alternances peuvent être saisonnières et conditionnées par le climat général (climat continental par opposition au climat atlantique). Elles peuvent être également liées à la station et provoquées par le dessèchement périodique de sols à hydromorphie temporaire de surface.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) F. Jacquin, *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 3019.
(2) I. V. Tiurin, *Travaux de l'Inst. des Sols Dokutchaiev*, 38, 1951, 32 pages.
(3) R. Betremieux, *Ann. Agr.*, 3, 1951, p. 193-295.
(4) A. Anstett, *VI*e *Congrès intern. Sc. du Sol*, II, 50, vol. B, Paris, 1956, p. 753-758.
(5) L. Rousseau, *Ann. École Nat. Eaux et Forêts*, 17, n° 1, 1960, p. 13-118.
(6) Ph. Duchaufour et F. Jacquin, *C. R. Ac. Agric. France*, 27 mai 1959, 4 pages.
(7) S. P. Iarkov, *VI*e *Congrès intern. Sc. du Sol*, V, 66, vol. E, Paris, 1956, p. 401-405.

(*École Nationale des Eaux et Forêts, Nancy.*)

PALÉONTOLOGIE. — *Première datation du bassin continental de l'Estrémadoure espagnole.* Note de MM. **Francisco Hernandez-Pacheco** et **Miguel Crusafont-Pairo**, présentée par M. Jean Piveteau.

Jusqu'à présent le bassin tertiaire de l'Estrémadoure espagnole n'a pas été daté. Il s'agit d'une formation continentale en connexion avec celle de Castille (bassin du Tage), mais dans laquelle on peut noter l'absence totale de dépôts de gypse et de calcaire.

Cette formation est constituée par trois niveaux de faciès différents : à la base, des couches argileuses très homogènes rouges et jaunâtres clairs; par dessus, une série arkosique, de couleur jaune avec de fréquentes intercalations de gros cailloutis schisteux (« canturral »); puis le niveau supérieur argileux, parfois marneux par enrichissement calcaire, lequel détermine les « barros » typiques de cette région.

Parfois, entre les deux niveaux inférieurs, il existe une légère surface d'érosion discordante. Dans le centre du bassin, l'ensemble est pratiquement horizontal: à la périphérie, de légers pendanges, de l'ordre de 8 à 10° ne marquent pas une direction précise étant donnée la complexité du socle paléozoïque-granitique sous-jacent.

La formation a une puissance variable qui oscille entre 30 et 160 m; elle repose sur un socle cambro-silurien schisteux, arrasé ou, par endroits sur un granit nivelé en pénéplaine.

On avait supposé jusqu'à présent, que les niveaux inférieurs de cette série sédimentaire était d'âge oligocène moyen, et le niveau supérieur peut-être miocène (*sensu lato*). La découverte, dans les couches argileuses de la base, de quelques restes de Mammifères, permet d'étendre, à l'ensemble de la formation, l'âge miocène. Il y aurait ainsi une relation directe entre le Tertiaire de l'Estrémadoure et celui de Castille, avec toutefois, quelques différences de faciès dues à l'absence, en Estrémadoure, de l'auréole mésozoïque qui permet le dépôt de gypse et de calcaire; le calcaire constitue, en Castille, un niveau supérieur très général et très typique nommé « caliza de los paramos » couronnant les mesetas.

Les restes de Mammifères ont été trouvés près de Plasencia, dans la couche argileuse rouge jaunâtre de la base de la formation; ils appartiennent à une seule forme, très typique et très représentative du Vindobonien inférieur de la péninsule ibérique. Il s'agit de l'Élasmothéridé (plus exactement de l'Iranothéridé) que nous avons décrit en 1947, pour la première fois en Espagne, à partir de « *Rhinoceros* » *matritensis* Prado [1], sous le nouveau nom de genre *Hispanotherium*.

Ce genre se caractérise par la présence de molaires modérément hypsodontes avec du cément externe et interne comblant les vallées, aux caractères primitifs par rapport à ceux de la sous-famille, mais dans lesquels

on peut cependant reconnaître une ébauche de plissement de l'émail; le protocône est typiquement étranglé. Ces dents diffèrent de celles d'*Iranotherium* par la faiblesse de la *crista* et par la présence d'un crochet assez fort. Sur les molaires inférieures fraîches, on peut observer un métaconide isolé, en forme de colonnette.

Les matériaux recueillis près de Plasencia consistent en deux troisièmes molaires supérieures typiques, appartenant au même individu, quelques fragments de molaires dont les caractères sont bien ceux d'*Hispanotherium* et quelques éléments du squelette parmi lesquels, un pyramidal et une extrémité proximale de tibia.

Typiquement, *Hispanotherium* provient du Vindobonien inférieur de Madrid (Puente de Toledo); le genre a été retrouvé au Portugal, dans le gisement de Quintanelas, près Sabugo, avec une faune nettement vindobonienne, et à Casul Chitas, en 1958, par MM. Viret et Zbyszewski. *Hispanotherium* est donc une forme ubiquiste du Vindobonien inférieur de l'aire castillane.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(¹) M. Crusafont et J. F. Villalta, *Las Ciencias*, Ano XII, nº 4, Madrid, 1947.

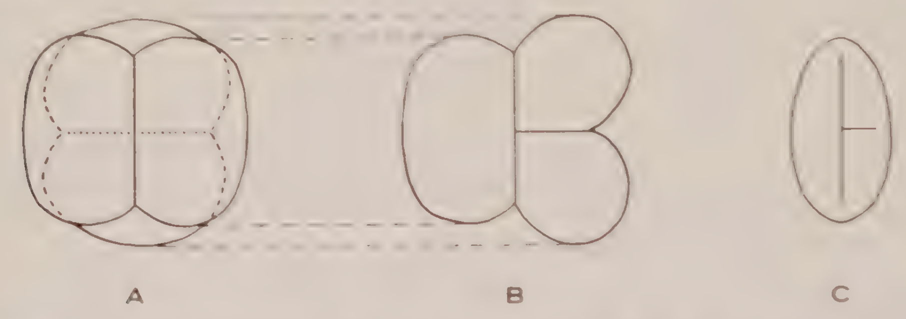
PALÉOBOTANIQUE. — *Sur un mode d'accolement des « spores » dans la tétrade, nouveau pour les spores palézoïques.* Note (*) de MM. **Jacques Danzé** et **Jean-Pierre Laveine**, transmise par M. Paul Corsin.

Des tétrades, du type connu chez les végétaux actuels sous le nom de « hexaédriques » ont été recueillies pour la première fois dans le terrain houiller au cours d'analyses palynologiques de charbons du Nord de la France. Elles correspondraient à des pollens de Ptéridospermophytes.

Jusqu'à présent, les spores et pollens provenant du terrain houiller ont été divisés en deux grands groupes déterminés par leur mode d'accolement dans la tétrade. Les tétrades ainsi formées correspondent toutes au type « tétraédrique », à l'intérieur duquel on reconnaît tout d'abord l'allure *trilete* : les quatre spores de la tétrade étant groupées autour d'un point commun, chaque spore est en contact avec ses trois voisines et les limites entre les trois surfaces de contact ont une forme en Y caractéristique. L'autre type est dit *monolete* et concerne les spores qui, dans la tétrade, sont accolées autour d'un axe commun. Chaque spore possède alors seulement deux surfaces de contact qui sont séparées par une crête simple : la crête monolete. Aucun mode d'accolement autre que ceux-ci n'a été décrit jusqu'à présent au sujet des sporomorphes carbonifères. Potonié et Kremp [1], dans leur Ouvrage d'ensemble sur les « spores dispersées » du houiller, en 1955, citent uniquement les marques tri- et monoletes. Dijkstra en fait autant en 1946 [2] et Alpern [3] reprend également les mêmes divisions. Cependant, ce dernier auteur signale [4] que le genre *Crassosporites* (monolete) peut présenter quelquefois, et plus particulièrement chez *Crassosporites triletoides* Alpern une marque pseudo-trilete due à la présence, sur la crête monolete, d'une « ramification transversale plus ou moins nette et plus ou moins longue, constituant la troisième branche de l'Y ». Alpern ne donne toutefois pas d'explication à ce caractère anormal.

Or, l'un de nous (J.-P. L.) a découvert récemment, au cours d'analyses palynologiques concernant des charbons du Nord de la France, des spores accolées en tétrade selon un mode jusqu'à présent inconnu dans le terrain houiller. Il s'agit de quatre spores, disposées deux à deux de façon monolete, mais les arêtes de contact des deux dyades forment une croix. Dans ces conditions, chacune des spores montre une crête composée, d'allure tout à fait particulière : une grande marque longitudinale droite, correspondant à la ligne de contact dans la dyade, et une deuxième marque transverse, pratiquement perpendiculaire à la première en son milieu et résultant de la position en croix des deux dyades. Cet aspect est, sans aucun doute, celui qui a été observé par Alpern chez *Crassosporites triletoïdes.*

Cependant, si cet assemblage était inconnu chez les spores et pollens houillers, il n'en était pas de même chez les végétaux actuels. Parmi les cinq types de tétrades figurés par Erdtman [5], celui appelé tétrade hexaédrique lui est rigoureusement semblable. Nous avons donc la preuve de l'ancienneté de cette forme qui se trouve avoir des représentants du même âge que celui des tétrades tétraédriques où l'on range simultanément les spores triletes et monoletes. De ce fait, les « spores » constituant les tétrades hexaédriques peuvent prétendre à porter une dénomination particulière, au même titre que les spores tri- ou monoletes, et nous proposons pour elles le terme *dilete* qui nous semble bien traduire la forme particulière de la marque apicale. Ce nouveau nom correspond *de facto* à une nouvelle *turma* dans le tableau général de classification morphographique des « spores » carbonifères.



Tétrade hexaédrique. Dessins schématiques. (G × 500 environ.)
A et B, vues orthogonales d'une tétrade montrant la disposition croisée des deux dyades; C, spore isolée avec sa marque dilete.

Enfin, étant donné que Erdtman signale que les tétrades hexaédriques sont souvent trouvées chez le genre *Picea*, il semblerait que les habitus identiques recueillis au Carbonifère pourraient provenir de Préphanérogames (Ptéridospermophytes) plutôt que de Cryptogames vasculaires. Nous aurions donc une indication supplémentaire de la position systématique de ces formes diletes qui seraient des pollens.

Toutes les tétrades hexaédriques recueillies proviennent de la base du faisceau d'Ernestine, assise de Bruay (Westphalien C) du Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais; les spores constituant ces tétrades présentent une ornementation qui les rapprocherait du genre trilete *Punctatisporites* sans, toutefois, qu'aucune assimilation puisse être envisagée.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) *Palæontographica*, Bd. 98, 1955, Abt. B, T. 1.

(2) *Mededel. v. d. geol. Stichting*, C, III, 1, n° 1, 1946.

(3) *Contribution à l'étude palynologique et pétrographique des charbons français* (Thèse, Paris, 1959).

(4) B. Alpern, *loc. cit.*, 1959, p. 155.

(5) *An introduction to pollen analysis*, Waltham, U. S. A., 1954.

TAXONOMIE VÉGÉTALE. — *Biosystématique de quelques* Spergularia *méditerranéens*. Note (*) de M. **Paul Monnier**, transmise par M. Louis Emberger.

Spergularia salina, taxon polymorphe à aire très vaste, formant de nombreuses races tétraploïdes ($2n = 36$), coexiste dans certaines stations du bassin méditerranéen, avec un taxon inconnu jusqu'ici, diploïde ($2n = 18$), que nous appelons *Spergularia tangerina* sp. nov. Celui-ci est probablement apparenté phylogénétiquement au *S. salina*.

L'étude biosystématique des *Spergularia* nous a révélé des faits nouveaux touchant la morphologie, la cytotaxonomie et la biogéographie des taxa méditerranéens.

Nous désirons présenter ici quelques résultats concernant une « espèce collective » : *Spergularia salina* Presl [*S. marina* (L.) Griseb. *sensu auctor. plur.*].

Cette espèce est souvent confondue avec *Spergularia marginata* Kittel [*S. media* (L. Presl) *sensu auctor. plur*]., en raison de certaines ressemblances et d'un habitat commun (biotopes salés d'une grande partie de l'hémisphère Nord). Mais ces deux taxa sont, en réalité, parfaitement distincts, ainsi que nous l'avons montré antérieurement ([1]). Par ailleurs, nos recherches, corroborées par celles de Ratter ([2]), nous ont prouvé qu'ils étaient génétiquement complètement séparés.

Les résultats que nous présentons découlent de nombreuses observations, sur le terrain, de populations naturelles et de cultures expérimentales durant plusieurs années.

Le binome *Spergularia salina* Presl (*sensu amplo*) couvre les nombreuses formes d'un taxon très polymorphe et répandu dans les associations les plus halophiles du littoral et de l'intérieur des terres, de la Scandinavie aux oasis sahariennes. Son autogamie quasi exclusive a favorisé la fixation de nombreuses races, sexuellement isolées et plus ou moins localisées. Celles-ci ne diffèrent, le plus souvent, que par des caractères minimes qui ne justifient pas la création de variétés ou de sous-espèces. Par ailleurs, les auteurs — Blackburn ([3]), Rohweder ([4]), Nordenskiöld ([5]), M. Rodriguez ([6]), Blackburn et Morton ([7]), Ratter ([2]), etc. — ayant effectué des comptages chromosomiques sur *S. salina* ont tous trouvé $2n = 36$. Ce caryotype tétraploïde ($x = 9$) a été vérifié par nous sur du matériel d'origine très variée : Danemark, Hollande, Grande-Bretagne, France, Péninsule ibérique, Afrique du Nord.

Cependant, dès 1955, notre attention fut attirée par des populations de la région de Tanger où de nombreux individus montrent une amplitude de variation plus étendue, comme l'ont confirmé l'analyse biométrique et l'étude de certains caractères morphologiques (ramification plus grande

de l'inflorescence, réduction des fleurs, importance des papilles tégumentaires de la graine). Ces individus « anormaux » représentent un taxon distinct, diploïde, avec $2n = 18$, qui sera décrit sous le nom de *Spergularia tangerina* sp. nov.

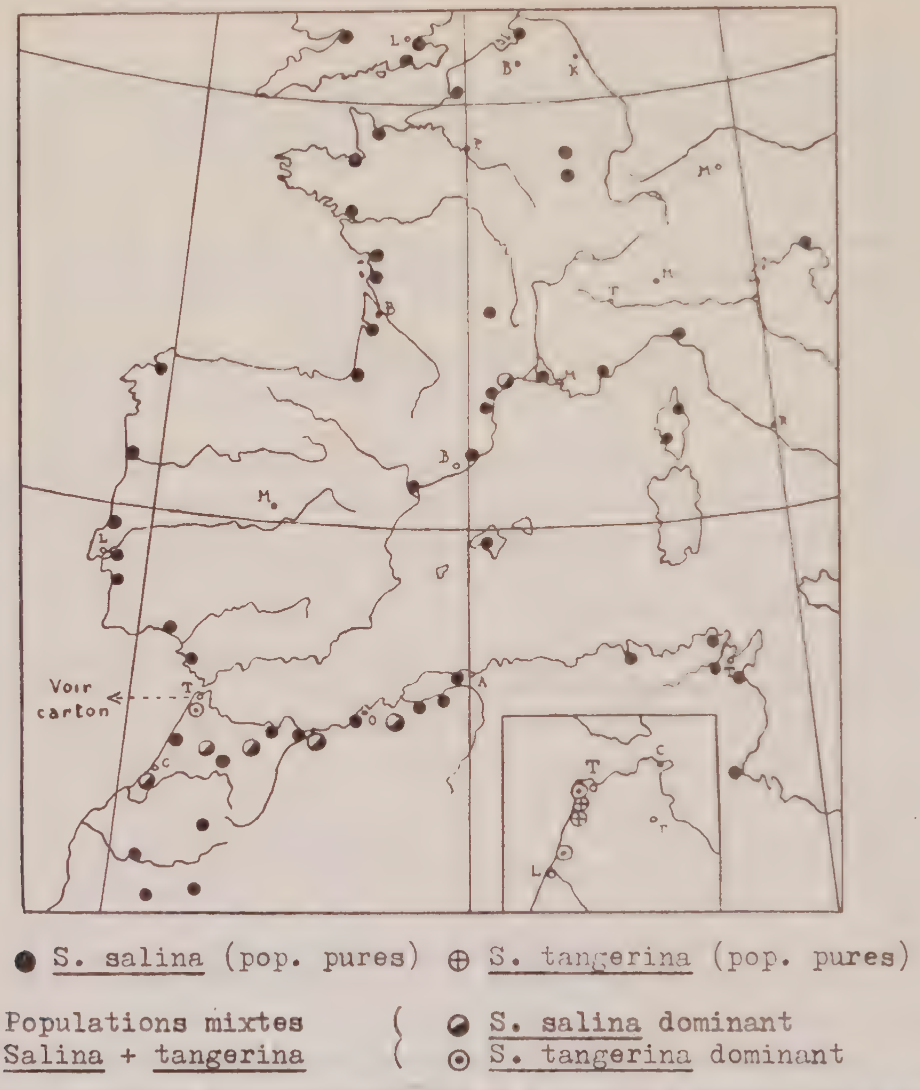


Fig. 1. — Répartition de quelques populations de *S. salina* et *S. tangerina* dans le bassin occidental de la Méditerranée et la péninsule tingitane (carton *en bas à droite*). Légende des signes annexée à la carte.

Plus que la différence dans le caryotype — pourtant généralement significative chez *Spergularia*, où le nombre chromosomique varie peu — les relations synchorologiques et synécologiques entre les deux taxa sont intéressantes : en effet, dans le Tangérois, au bord des « merjas » littorales, *S. tangerina* diploïde domine nettement son concurrent tétraploïde, parfois jusqu'à l'exclure de certaines stations ; lorsqu'il y a coexistence, il le dépasse

plus ou moins en abondance et en vigueur. Au contraire, dès qu'on s'éloigne de la péninsule tingitane, un rapport inverse s'établit : *S. tangerina*, dans des groupements halophiles où domine *S. salina*, est toujours plus réduit (jusqu'à 4 ou 5 fois plus petit), moins abondant, souvent très rare ou absent. Nous avons observé ces faits en de nombreux points (région de Fès, Maroc oriental, Oranie et même France méridionale); ici *S. tangerina* paraît véritablement relictuel. La carte ci-jointe (*fig.* 1) résume ces données biogéographiques.

Le curieux balancement dans la dominance de ces deux taxa sympatriques tient probablement à des facteurs d'ordre écologique et bioclimatique; il est sans doute également lié à leurs relations de parenté phylogénétique. Sur ce dernier point, des expériences en cours viendront confirmer (ou infirmer) l'hypothèse très vraisemblable d'une filiation de *S. salina* à partir de *S. tangerina* par auto- ou plutôt allopolyploïdie.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) *Bull. Soc. sc. nat. phys.*, Maroc, 25, 1955, p. 145-163.

(2) *A cytogenetic study* in *Spergularia* (*Thèse Ph. Doct.*), Liverpool, 1959.

(3) *Proc. Univ. Durham Phil. Soc.*, 9, 1933, p. 84-90.

(4) *Beih. Bot. Zentralbl.*, 59, n° 2, 1939, p. 1-58.

(5) *in* A. et D. Löve, *Bot. Notiser.*, 27, 1942, p. 18-59.

(6) *Contribuçao para o conhecimento cariologico das halofitas e psamofitas litorais. Dissert.* (*Thèse*), Coïmbra, 1953.

(7) *New Phytolog.*, 56, 1957, p. 84-90.

(*Institut de Botanique,*
Faculté des Sciences, Montpellier.)

MYCOLOGIE. — *Sur des caractères particuliers de* Madurella mycetomi *et de* Madurella americana : *besoins en soufre et en leucine.* Note de M. **Gabriel Segretain** et Mme **Geneviève Segretain** [1], présentée par M. Jacques Tréfouël.

La leucine est facteur de croissance pour *Madurella americana* Gammel. L'isolement de mutants spontanés de *Madurella mycetomi* n'utilisant pas le soufre du sulfate, permet de vérifier que pour être métabolisé, le sulfate doit être réduit en sulfite et thiosulfate.

Madurella mycetomi est l'agent le plus fréquent des mycétomes fongiques. En étudiant un grand nombre de souches de ce champignon conservées en collection ou provenant d'isolements récents, nous avons remarqué que de nombreuses souches peuvent donner des variants : un variant apparaît en un point de la colonie en culture et est reconnaissable à une morphologie macroscopique particulière. A partir d'une même souche, huit variants différents ont pu ainsi être isolés.

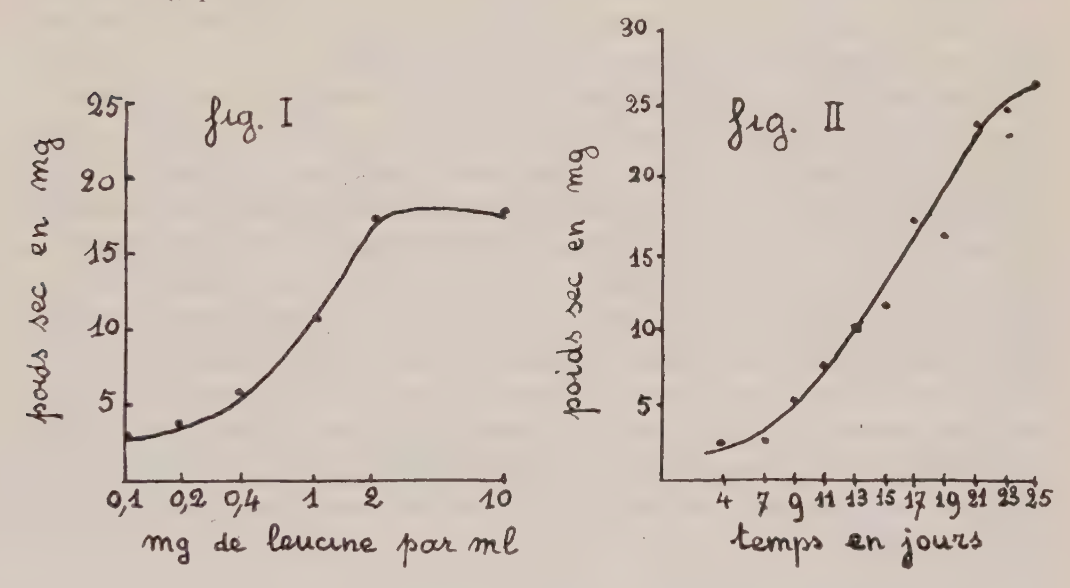
L'azote minéral est bien utilisé par ces champignons. Cependant, une souche et deux variants ne donnent sur azote minéral, urée ou asparagine, qu'un développement très faible semblable à celui sur milieu sans azote. Il s'agit d'une part d'une souche isolée et décrite par Gammel et coll. [2] sous le nom de *Madurella americana*, reçue de Mackinnon et portant le n° 64 de la collection du Service de Mycologie de l'Institut Pasteur, d'autre part de deux variants de souches de *Madurella mycetomi* reçues de la collection du « London School of Hygiene », portant les nos A 209 et A 216 de cette collection et isolées en 1953 et 1954 par Abbott au Soudan.

Ayant vérifié que les vitamines du groupe B étaient sans action sur la croissance de ces champignons, nous avons pensé que ces souches avaient des besoins particuliers en acides aminés et avons ajouté alors, soit de l'hydrolysat de caséine, soit les acides aminés séparément ou tous ensemble (0,2 g % pour les acides racémiques et 0,1 g % pour le glycocolle et les acides de la série *l*) au milieu de base suivant : KH_2PO_4, 0,36 g; Na_2HPO_4, 1,42 g; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,60 g; K Cl, 1 g; solution d'oligoéléments de Berthelot, 10 gouttes; glucose pur, 10 g; gélose lavée, 15 g; eau distillée dans le pyrex, 1 000 ml. Les ensemencements de ces trois champignons sur ces milieux nous ont donné les résultats suivants :

Madurella americana se développe sur l'hydrolysat, sur les acides aminés réunis et sur le milieu contenant de la leucine; sur les milieux contenant d'autres acides aminés, la croissance du champignon est très faible, semblable à celle sur milieu sans azote. Par culture de ce champignon à 30° sur le même milieu de base que précédemment mais non solidifié par la gélose, on mesure, par pesées du champignon récolté et séché à 100°, la crois-

sance de *M. americana* en fonction de la concentration en leucine et, pour une quantité donnée de leucine, en fonction du temps de culture.

Après 14 jours de culture, la croissance du champignon devient manifeste à partir de 400 μg de leucine par millilitre ; la courbe de croissance atteint un plateau pour 2 000 μg de leucine par millilitre et le poids sec de la récolte est alors 17,3 μg pour 20 ml de milieu (*fig.* 1). En présence de 1 g d'asparagine par litre de milieu de base et de quantités variables de leucine, après 10 jours de culture, la croissance du champignon commence à apparaître pour 16 à 20 μg de leucine par millilitre ; elle atteint un plateau entre 1 000 et 2 000 μg/ml et la quantité de mycélium sec formé est alors de 35,3 mg pour 20 ml de milieu.



En présence de 1 g de leucine par litre de milieu, les courbes de croissance des champignons en fonction du temps montrent que, si cet acide aminé est la seule source d'azote, la phase exponentielle de croissance commence vers le 7ᵉ jour et un plateau semble atteint vers le 25ᵉ jour de culture, le poids de la récolte atteignant 26,4 mg pour 10 ml de milieu (*fig.* 2) ; si l'on ajoute 1 g d'asparagine par litre de milieu, la phase exponentielle de croissance du champignon débute vers le 5ᵉ jour et se poursuit jusqu'au 16ᵉ jour où la récolte du mycélium sec atteint 40,4 mg pour 20 ml de milieu.

Les variants des souches de *Madurella mycetomi* nᵒˢ A 209 et A 216 repiqués sur les milieux aux acides aminés se développent bien sur la cystéine et la méthionine, ainsi que sur l'hydrolysat de caséine et sur le milieu contenant tous les acides aminés. Ces variants n'exigent donc pas pour leur croissance un acide aminé déterminé, mais ils ont probablement un besoin particulier en soufre car les deux acides aminés, cystéine et méthionine, contiennent tous deux du soufre. Ceci fut vérifié en cultivant ces deux champignons sur un milieu de base gélosé semblable au précédent,

mais où l'on a supprimé l'apport d'oligoéléments (source de soufre sous forme de sulfate) et en remplaçant le sulfate de magnésium par $MgCl_2 6H_2O$, 0,5 g/l. On a alors supplémenté ce milieu de base fractionné, avec les sources de soufre suivantes à la concentration de 0,078 g de soufre pour 1 000 ml de milieu, chaque fraction de milieu recevant une source de soufre : sulfate ($Na_2SO_4 10 H_2O$), sulfite ($Na_2SO_3 7 H_2O$), thiosulfate ($Na_2S_2O_3 5 H_2O$), hydrosulfite ($Na_2S_2O_4$), trithionate ($Na_2S_3O_6$), tétrathionate ($Na_2S_4O_6$ et $K_2S_4O_6$), sulfure ($Na_2S 9H_2O$).

Le variant A 216 se développe bien sur sulfite, thiosulfate, hydrosulfite, trithionate et sulfure. Le variant A 209 ne se développe qu'en présence de thiosulfate, d'hydrosulfite, de trithionate, de tétrathionate de potassium et de sulfure. Le premier de ces variants a donc perdu la capacité d'utiliser le sulfate et le second n'utilise pas en outre le sulfite.

En conclusion, la plupart des souches de *Madurella mycetomi* présentent de nombreuses variations ou mutations; deux variants ont manifesté des besoins particuliers en soufre, en utilisant seulement les formes moins oxydées que le sulfate. Ceci confirme les travaux réalisés par Hockenhull (3) sur des mutants provoqués d'*Aspergillus nidulans* : pour être utilisé le soufre du sulfate doit être réduit par voie enzymatique en sulfite, puis en thiosulfate. D'autre part, *Madurella americana* décrit par Gammel et coll. et identifié à *Madurella mycetomi* par Mackinnon présente un besoin en leucine qui est facteur de croissance pour ce champignon. Pour cette souche, nous sommes en désaccord avec Mackinnon qui trouve que *M. americana* se développe sur azote minéral, sur l'asparagine et sur l'urée (4), (5). Il est alors probable que nous avons étudié un mutant, — leucine, — de la souche originelle.

(1) Avec la collaboration technique de Mlle A. Arcouteil.

(2) J. Gammel, H. Miskdjan et H. S. Thatcher, *Arch. Derm. Syph.*, 13, 1926, p. 66-67.
(3) D. J. D. Hockenhull, *Biochim. Biophys. Acta*, 3, 1949, p. 326-335.
(4) J. E. Mackinnon, L. V. Ferrada et L. Montemayor, *An. Fac. Med. Montevideo*, 34, 1949, p. 231-300.
(5) J. E. Mackinnon, *An. Fac. Med. Montevideo*, 36, 1951, p. 197-210.

(*Service de Mycologie et de Physiologie végétale, Institut Pasteur, Paris.*)

CYTOLOGIE VÉGÉTALE. — *Contribution à l'étude de la reproduction sexuée chez* Araucaria araucana. Note (*) de M. **Michel Favre-Duchartre**, présentée par M. Roger Heim.

Cette étude précise l'insertion dans le temps du cycle biologique des *Araucaria araucana* se développant en France, un test morphologique de la méiose ♂, certains caractères du pollen et des tubes polliniques, le nombre final des noyaux haploïdes ♀ libres et les circonstances qui provoquent le passage des prothalles ♀ à l'état alvéolaire, le développement des archégones et des proembryons.

A notre connaissance, le cycle biologique du genre *Araucaria* n'a pas été étudié depuis les publications de Thomson ([1]) et ([2]), Lopriore ([3]), Seward et Ford ([4]), Burlinghame ([5]) et Johansen ([6]) et seuls deux de ces travaux ([1]) et ([4]) concernent l'espèce *A. araucana* (= *imbricata*).

Ce conifère dioïque d'origine chilienne produit, en France, des graines fertiles quand les cônes ♀ ([7]) ont été pollinisés en temps voulu. La figure 1 permet de dater les principales phases du déroulement des gamétogénèses ♂ et ♀ et celles de l'embryogénèse.

La méiose ♂ s'accompagne de modifications morphologiques décelables à l'œil nu : au moment de son accomplissement, le calibre du tissu sporogène de chaque sac pollinique augmente d'environ 10 μ; les microsporanges, ainsi gonflés, sont pressés les uns contre les autres au point de rester incorporés au cône ♂ quand on rompt par traction le microsporophylle qui les porte, au lieu d'être entraînés avec lui. Pendant la quinzaine de jours qui précède l'anthèse, les cônes ♂ s'allongent d'environ 4 cm, passant de 6,5 à 10,5 cm environ. Ce soudain et ultime accroissement n'affecte pas les cônes séparés de l'arbre et maintenus dans une pièce d'habitation, conditions dans lesquelles ils libèrent leur pollen 5 jours avant les cônes portés par l'arbre. Le pollen récemment libéré a une densité de 0,6, c'est-à-dire double environ de celle du pollen de *Pinus Laricio* [*cf.* Durham ([8])]. Il est constitué de grains sphériques d'environ 70 μ de diamètre. Nous y avons compté de 40 à 45 noyaux d'environ 5 μ, libres dans un cytoplasme très riche en grains d'amidon. Un noyau reproducteur, Feulgen-positif comme les noyaux libres mais plus volumineux (9 μ), est inclus dans une cellule globuleuse au cytoplasme dense, dépourvue d'amidon.

Le sommet du nucelle émerge librement hors de l'enveloppe ovulaire (*fig.* 2, 3 et 4), acquerrant de bonne heure une forme en crochet. Le prothalle ♀, formé au mois d'avril d'une première année (*fig.* 1 et 3), reste à l'état cénocytique pendant l'été et l'hiver suivants. A la suite de 10 mitoses, ainsi échelonnées sur 10 mois et affectant chaque fois la totalité des noyaux libres, le nombre de ces derniers culmine à 1024 (c'est-à-dire 2^{10}). Les premières journées chaudes de la fin de l'hiver déclenchent alors le passage du prothalle ♀ à l'état alvéolaire, puis cellu-

laire. Cette transformation s'effectue en 30 h dès le 1er février, dans des cônes ♀ séparés de l'arbre et transportés dans une pièce d'habitation où la température est de 20°.

Les archégones, dont le nombre varie de 3 à 10, se différencient au sommet micropylaire du prothalle cellulaire avant même qu'il n'ait comblé sa cavité centrale (*fig.* 4). Leur situation est primitivement marginale, mais, à maturité, le prothalle s'est développé au-dessus d'eux sur une épaisseur de 300 à 400 μ (*fig.* 5), ménageant un puits reliant la périphérie

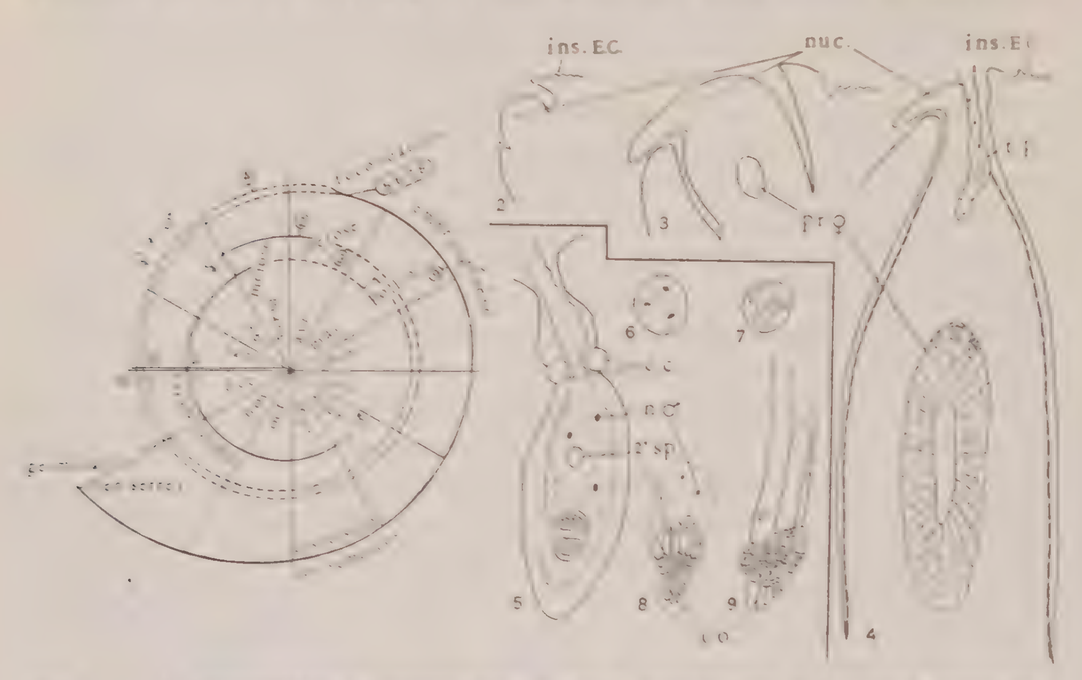


Fig. 1. — 1. Représentation schématique du cycle ontogénique d'*Araucaria araucana* : les lignes pleines symbolisent le développement des tissus diploïdes (microsporogénèse, macrosporogénèse, embryogénèse), les lignes pointillées représentent les phases haploïdes des gamétogenèses ♂ et ♀. 2, 3, 4, × 13 coupes longitudinales axiales d'ovules du mois d'avril de la première année (2 et 3) et de mars de la deuxième année (4). 5 à 9, × 75. 5. Archégone récemment fécondé; proembryon binucléé. 6. 3 des 8 noyaux prophasiques. 7. 9 des 32 noyaux interphasiques. 8. Proembryon de 128 cellules. 9. Proembryon au suspenseur allongé. Les dates relatives aux figures 2 à 9 sont lisibles sur la figure 1. nuc., nucelle; Pr., ♀, prothalle ♀; t. p., tube pollinique; C. C., cellules du col; 2e Sp., 2e spermatozoïde; Pro., proembryon; Co., coiffe.

au col. Ce dernier est alors composé d'une dizaine de cellules triangulaires, disposées de façon rayonnante en une seule assise. A maturité, la cavité archégoniale oblongue mesure 200 à 360 μ de long sur environ 120 μ de large. Le noyau de la cellule centrale semble bien ne pas se diviser.

Les tubes polliniques s'accroissent marginalement sur la partie apicale du nucelle (1,5 mm environ) dont l'assise cellulaire limitante n'est pas différenciée. Dès le niveau où celle-ci est résinifère, les tubes polliniques pénètrent à l'intérieur du tissu mégasporangial (*fig.* 4). Ayant atteint le

prothalle ♀, ils le creusent de sillons; puis, chacun d'eux traverse par son milieu un col archégonial dont les cellules sont alors turgescentes (*fig.* 5).

A la suite du noyau spermique fécondant, le deuxième noyau spermique et quelques noyaux prothalliens ♂ pénètrent dans la cavité archégoniale et y dégénèrent (*fig.* 5). Les proembryons passent d'abord (sans grande simultanéité à l'intérieur d'un même prothalle où quatre d'entre eux peuvent se développer) par une phase cénocytique au cours de laquelle les noyaux diploïdes se divisent tous synchroniquement, leur nombre s'accroissant ainsi jusqu'à 64 (c'est-à-dire 2^6), dans un cytoplasme dense, de forme globuleuse (*fig.* 5, 6 et 7). Quand les 128 (c'est-à-dire 2^7) cellules sont délimitées, celles (de 24 à 30) qui sont situées du côté du col s'allongent vers lui en un faisceau de tubes parallèles; au pôle opposé, des cellules au cytoplasme dense forment une coiffe entourant un massif méristématique (*fig.* 8). Plus d'un mois après la fécondation, on observe encore de ces cellules apicales particulières en avant du massif méristématique propulsé au sein du prothalle ♀ par l'allongement des cellules suspensoriales (*fig.* 9).

Dans les graines mûres, l'embryon dicotylé et l'endosperme amylifère sont comestibles.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) *Univ. Toronto Stud. Biol. Ser.*, 4, 1905, p. 27-28.

(2) *Science N. S.*, 22, 1905, p. 88; 25, 1907, p. 271-272.

(3) *Ber. deutsch. Bot. Gesell.*, 23, 1905, p. 335-346.

(4) *Phil. Transact. R. Soc. London*, B, 198, 1906, p. 305-414.

(5) *Bot. Gaz.*, 55, 1913, p. 97-114; 57, 1914, p. 490-508; 59, 1915, p. 1-39.

(6) *Plant embryology-Embryology of the spermaphyta*, 1950, p. 34-37.

(7) En particulier ceux qui sont portés par les *A. araucana* ♀ se développant à la Station de Biologie végétale de Fontainebleau et dans diverses propriétés de Normandie et de Bretagne.

(8) *The jour. of allergy St-Louis*, 14, n° 6, 1943, p. 455-461.

(*Laboratoires de Biologie végétale de la Faculté des Sciences de Paris et de la Faculté des Sciences de Reims, 3, rue Vauthier-le-Noir, Reims, Marne.*)

HISTOLOGIE VÉGÉTALE. — *Sur la structure et le fonctionnement du méristème végétatif de quelques Angiospermes aquatiques ou semi-aquatiques dépourvues de moelle.* Note (*) de Mlle **Arlette Lance-Nougarède** et M. **Jean-Edmé Loiseau**, présentée par M. Lucien Plantefol.

Le méristème apical d'*Elodea*, d'*Hippuris*, de *Ceratophyllum* et de *Callitriche* est dépourvu d'anneau initial et de méristème d'attente; il est constitué d'un massif méristématique apical homogène et d'un cordon prévasculaire axial qui remonte plus haut que les derniers initiums foliaires; ceux-ci naissent latéralement sans soubassement préalable; leur procambium se raccorde au cordon axial sans fenêtre foliaire.

Chez les Angiospermes médullarisées, l'ontogenèse des tissus conducteurs et des tissus corticaux de la tige résulte de l'activité latérale et subapicale d'un « anneau initial » qui met en place, à chaque plastochrone, les cellules du « soubassement foliaire ». L'organogenèse de la tige est donc inséparable de celle des feuilles et la tige ne comporte qu'un seul tissu proprement caulinaire, la moelle, issue du méristème médullaire. Les cellules apicales axiales, dites du « méristème d'attente » dont l'activité est très réduite, ne jouent qu'un rôle accessoire ou indirect dans l'organogenèse végétative. De nombreuses plantes aquatiques ou semi-aquatiques comme l'*Elodea*, l'*Hippuris*, le *Ceratophyllum* et le *Callitriche* ont une tige dépourvue de moelle et qui présente, en son centre, un faisceau de cellules conductrices. On peut donc se demander si, dans ces conditions, la notion d'anneau initial est encore applicable à ces plantes, quel est, alors, le rôle des cellules les plus axiales de l'apex et quelle est la valeur morphologique des appendices latéraux produits par le méristème.

Explication des figures.

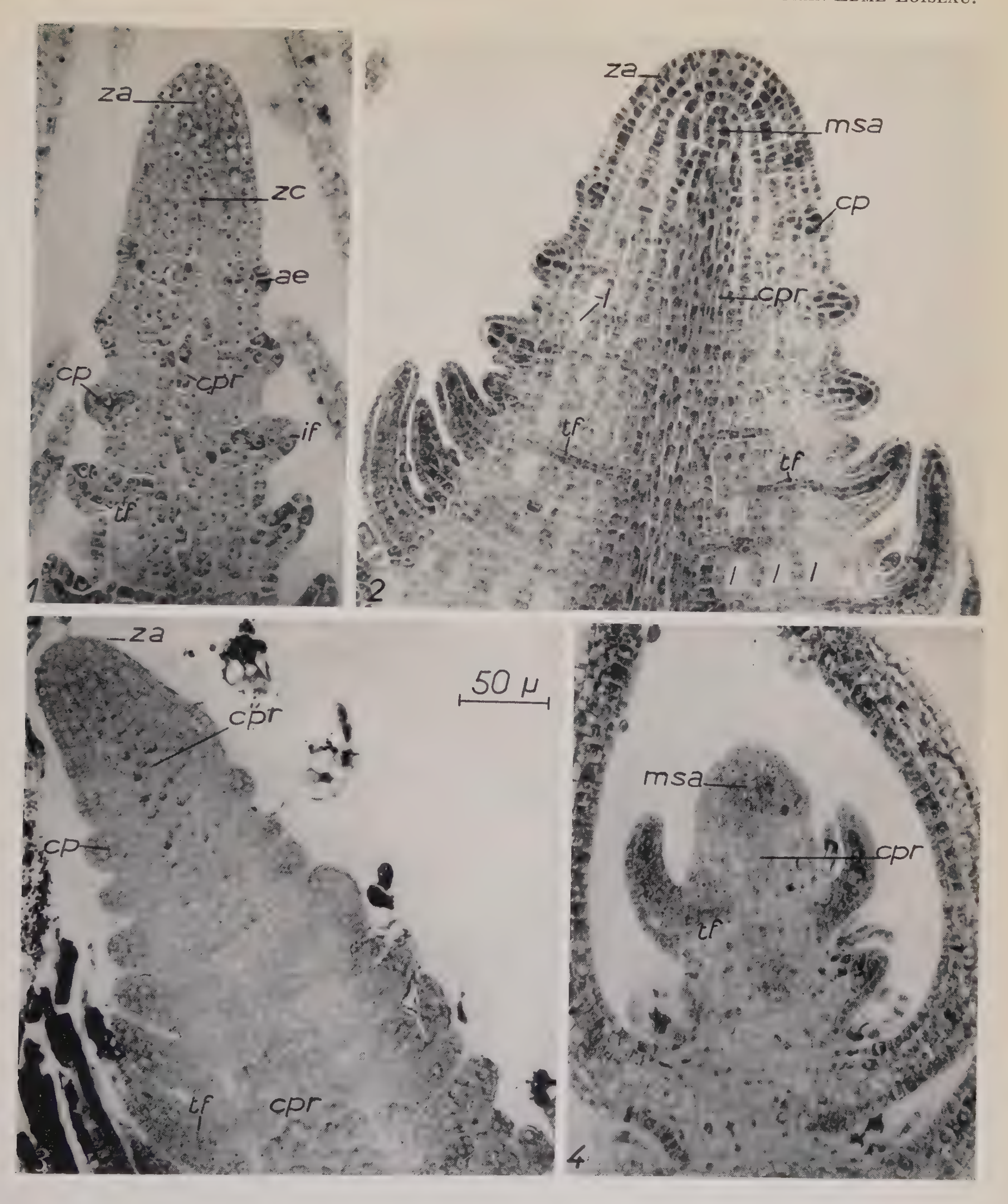
Fig. 1 à 4. — Coupes longitudinales axiales de méristèmes végétatifs traités par la technique de Brachet (G × 180).

Fig. 1. — *Elodea canadensis* : Zone axiale, *za*, riche en ARN avec de gros noyaux et de volumineux nucléoles; zone latérale sous-jacente moins riche en ARN; zone centrale, *zc*, organisant vers le bas, le cordon provasculaire axial, *cpr*. Sur les flancs, phases successives de l'initiation foliaire, *if*; *tf*, trace foliaire.

Fig. 2. — *Hippuris vulgaris* : Zone apicale axiale, *za*, chargée de ribonucléoprotéines; massif subapical, *msa*, passant vers le bas au cordon provasculaire axial, *cpr*. Noter l'initiation foliaire sous-épidermique, *cr*, et les traces foliaires, *tf*, se raccordant au cordon axial sans fenêtre foliaire.

Fig. 3. — *Ceratophyllum demersum* : Zone axiale, *za*, riche en ARN, cordon prévasculaire axial, *cpr*, et traces foliaires, *tf*, tardivement différenciées.

Fig. 4. — *Callitriche stagnalis* : Assises de cellules axiales superficielles à volumineux nucléoles et massif subapical, *msa*, spécialement riche en ARN. Noter le cordon prévasculaire axial, *cpr*, et la trace foliaire *tf*.


za
zc
ae
cp
cpr
if
tf
1
za
msa
cp
l
cpr
tf
tf
l l l
2
za
cpr
50 μ
cp
tf
cpr
3
msa
cpr
tf
4

Stant [1] a déjà décrit dans le sommet végétatif d'*Elodea densa* des cellules axiales « initiales » de la *tunica* et du *corpus*. Savelkoul [2] y voit l'activité d'une zone distale. Les deux auteurs reconnaissent, en outre, une zone périphérique initiatrice des feuilles.

Les figures 1 à 4 (test de Brachet) montrent l'organisation apicale des quatre genres précédemment cités. Dans l'apex d'*Elodea canadensis* (*fig.* 1), les zones les plus riches en acides ribonucléiques (ARN) sont, d'une part la zone apicale axiale homogène (*fig.* 1, *za*) et d'autre part, entièrement séparés de ce méristème terminal, les points d'initiation foliaire. Sous la zone apicale axiale et latéralement, les cellules sont étroites et leur forme rectangulaire témoigne de divisions anticlines, cependant le nucléole est de faible diamètre et le cytoplasme un peu moins riche en ARN. Au centre, sous la zone apicale, les cellules axiales centrales (*fig.* 1, *zc*) se disposent en trois ou quatre files longitudinales dont les cellules se recloisonnent d'abord perpendiculairement à l'axe de la tige, puis s'allongent et se divisent alors parallèlement à l'axe. Leur teneur en ARN s'accroît vers le bas : ces cellules centrales construisent le cordon proconducteur axial (*fig.* 1, *cpr*) qu'on peut ainsi suivre jusqu'aux cellules de la zone apicale axiale.

L'initiation des appendices latéraux débute à 120 μ du sommet. Des divisions anticlines se font d'abord dans l'assise épidermique où la teneur en ARN s'élève considérablement (*fig.* 1, *ae*) de même que dans les cellules sous-épidermiques sous-jacentes. Des divisions périclines sous-épidermiques soulèvent ensuite la jeune émergence (*fig.* 1, *cp*). Les cellules corticales encore méristématiques et situées entre le cordon proconducteur axial (*fig.* 1, *cpr*) et l'initium foliaire (*fig.* 1, *if*), s'enrichissent à leur tour en ribonucléoprotéines et se recloisonnent de manière à édifier un cordon proconducteur qui relie le primordium foliaire naissant au cordon proconducteur axial (*fig.* 1, *tf*). Le raccord s'effectue sans fenêtre foliaire.

La zone apicale axiale d'*Hippuris vulgaris* (*fig.* 2, *za* tige dressée) riche en ARN, montre cinq à six assises tunicales superficielles. A sa base, un petit massif subapical (*fig.* 2, *msa*) passe au cordon provasculaire central, *cpr*. La zone corticale latérale se vacuolise rapidement et s'appauvrit en ribonucléoprotéines tandis que des lacunes, *l*, se différencient. Les feuilles sont des émergences superficielles soulevées par des divisions périclines de l'assise sous-épidermique (*fig.* 2, *cp*). Leur cordon procambial s'établit, comme chez l'*Elodea*, à partir de cellules corticales et se raccorde au cordon axial sans fenêtre foliaire.

L'apex de *Ceratophyllum demersum* offre aussi un massif axial homogène (*fig.* 3, *za*) très riche en ARN, un cordon provasculaire central (*fig.* 3, *cpr*) et une zone latérale d'initiation située à quelque distance du sommet. Le raccord vasculaire entre les émergences latérales et le cordon axial se fait tardivement, mais toujours sans fenêtre foliaire (*fig.* 3, *tf*).

Chez *Callitriche stagnalis* (*fig.* 4), l'apex est en forme de dôme surbaissé. Deux assises de cellules superficielles, à volumineux nucléole coiffent un petit massif subapical (*fig.* 4, *msa*) de cellules très actives et spécialement chargées d'ARN. Un étroit cordon axial provasculaire (*fig.* 4, *cpr*) remonte jusqu'au massif subapical. On remarque parfois, au centre du cordon proconducteur, une file de cellules vacuolisées, pauvres en ARN, origine des quelques cellules médullaires de la tige. Les feuilles, opposées, naissent près du sommet de mitoses périclines sous-épidermiques (*fig.* 4, *cp*) après un léger accroissement superficiel de la base du cône végétatif, dû à une activité tunicale anticline. L'initiation foliaire amène donc une légère variation de forme de l'apex; mais, comme dans les trois genres précédents, il n'existe pas de fenêtre foliaire.

En bref, chez *Elodea*, *Hippuris*, *Ceratophyllum* et *Callitriche*, l'apex acquiert constamment de nouvelles cellules par l'activité du méristème sommital ou des cellules sous-jacentes. Un cordon procambial axial remonte au-dessus des derniers initiums foliaires : ces derniers sont des émergences superficielles, nées sans soubassement et dont l'initiation n'entame pas l'apex. Le raccord entre le cordon provasculaire axial et le procambium foliaire s'établit sans fenêtre foliaire. Les feuilles ne sont donc pas mises en place par l'activité latérale et plastochronique d'un anneau initial; elles rappellent plutôt les microphylles des Psilophytales décrites par Bower (³). Corrélativement, il n'existe pas de méristème d'attente.

(*) Séance du 30 mai 1960.

(¹) M. Y. Stant, *Ann. Botany*, 16, 1952, p. 115-128.

(²) M. H. Savelkoul, *Amer. J. Bot.*, 44, 1957, p. 311-317.

(³) F. O. Bower, *Primitive Land Plants*, London, 1935.

(*Laboratoire de Botanique de l'École Normale Supérieure.*)

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Les modifications morphologiques et physiologiques de la racine de* Pisum sativum *L. sous l'influence du chlorure mercurique.* Note (*) de Mmes **Germaine Castan** et **Geneviève Brunel-Capelle**, transmise par M. Raoul Combes.

Pour les fortes concentrations en chlorure mercurique (M/50 000), l'inhibition de la croissance de la racine s'accompagne d'une disparition presque totale de l'activité des composés thiols et d'une modification du métabolisme azoté. Pour des concentrations plus faibles (M/300 000), l'activité des groupes —SH est légèrement exaltée. Quelle que soit la concentration considérée, le sublimé inhibe plus ou moins rapidement l'élongation et la multiplication cellulaires.

Cette étude a été précédée d'une mise au point des conditions de culture et le protocole expérimental adopté est le suivant : 200 pois, choisis de taille moyenne, sont mis à imbiber pendant 15 h dans 1 l d'eau distillée, constamment aérée par un courant d'air. Après 24 h de germination en atmosphère humide, seuls les pois dont la longueur de la racine est comprise entre 11 et 13 mm, sont placés sur des supports de verre dans un bécher, de sorte que la moitié inférieure de la racine plonge, soit dans l'eau, soit dans la solution de chlorure mercurique.

Les modifications de la croissance, appréciées par les variations de poids sec et de longueur, ont été suivies parallèlement à l'évolution des composés —SH.

La détermination de l'importance des phénomènes en fonction de la concentration en chlorure mercurique a montré deux faits particuliers :

— une disparition des groupes —SH révélables à l'acide mésoxalique [1], disparition qui se marque par une inhibition de la croissance déjà nette après 8 h d'action de la solution M/50 000;

— une légère exaltation de l'activité des groupements thiols qui se manifeste après un séjour de 24 h dans des solutions plus diluées et, en particulier, à la concentration M/300 000. Cette exaltation n'est pas accompagnée de différences significatives de longueur ou de poids sec.

Une idée plus précise de l'action de ces deux concentrations est apportée par une étude des phénomènes en fonction du temps. Les courbes de la figure 1 représentent l'évolution des composés —SH dont l'activité est traduite par le nombre d'unités mésoxaliques contenues dans 1 000 racines;

— durant les premières heures, les racines du témoin ne s'enrichissent que très lentement en composés thiols mais, après 31 h, l'augmentation devient importante. Elle est en relation avec la formation des pointements radiculaires, car les méristèmes des futures racines secondaires sont des zones connues, en général, pour être particulièrement actives sur l'acide mésoxalique [2]. Pour la concentration M/50 000, l'activité des groupements —SH diminue, passe par un minimum à 24 h, puis remonte dans des proportions notables, comparables à celles du témoin. Pour la concen-

tration M/300 000, c'est une réaction d'exaltation, de courte durée, qu'on observe vers 24 h.

Les dosages d'azote, faits pour la concentration où le métabolisme est

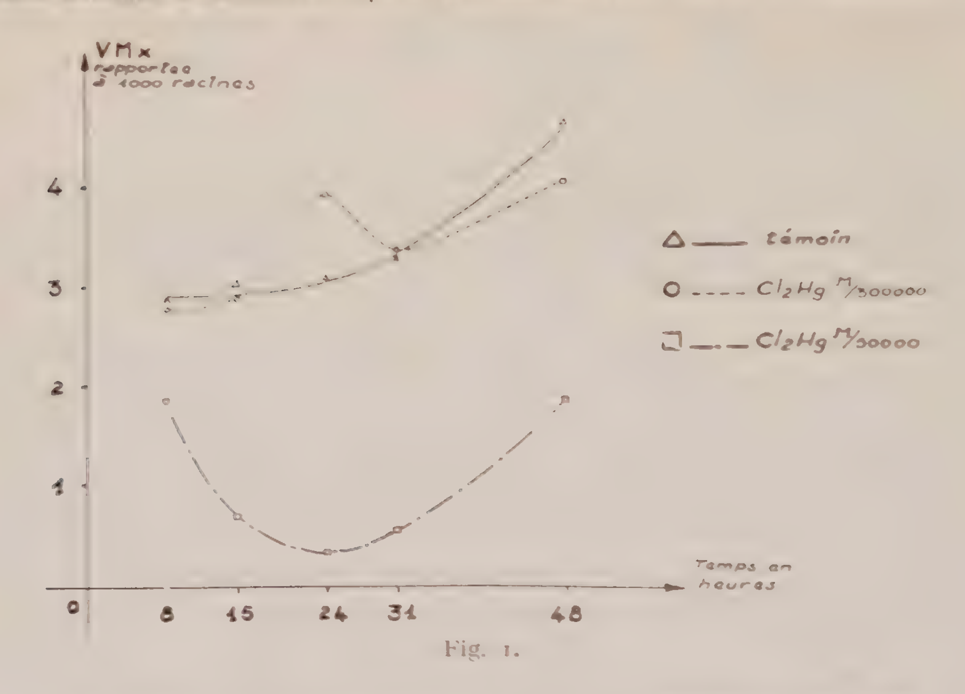


Fig. 1.

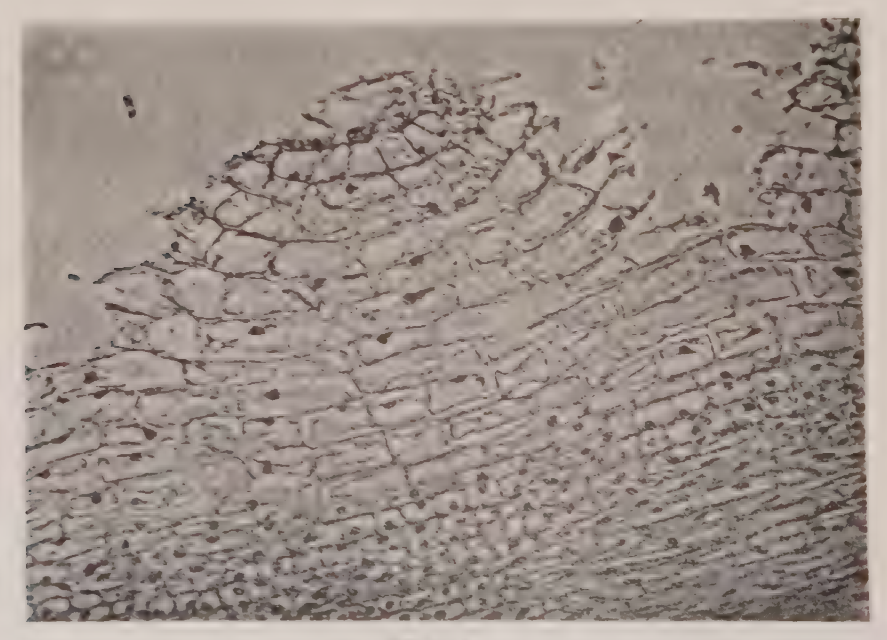


Fig. 2.

le plus perturbé : M/30 000, montre que le pourcentage d'azote total reste inchangé. Par contre, des différences quantitatives apparaissent en ce qui concerne la nature des constituants azotés. Entre 8 et 48 h, l'azote

soluble, exprimé en pour-cent de l'azote total, augmente de 40 % pour le témoin et seulement de 15 % pour l'essai, indiquant une perturbation du métabolisme provoquée par le chlorure mercurique.

La diminution de l'activité des —SH et l'inhibition de la croissance s'accompagnent de modifications cytologiques et morphologiques. Le chlorure mercurique provoque, après 48 h d'action, des déchirements du parenchyme cortical (*fig.* 2). Ces déchirements débutent dans la zone d'élongation et sont d'autant plus profonds que la croissance est plus lente. Ceci viendrait d'une dualité entre la vitesse d'allongement des racines et la rapidité d'action des ions mercuriques, rapidité qui dépend de la pénétration et de l'accumulation de ces ions. Les altérations de l'écorce sont dues à une différence de croissance des parois internes et externes des cellules (*fig.* 2, tableau I).

TABLEAU I.

Assise cellulaire (*).	Longueur externe des cellules (μ).	Longueur interne des cellules (μ).	Différence de longueur (μ).
3e assise.............	20,5	28,0	7,5
4e assise.............	23,0	28,8	5,8

(*) Les mesures portent sur les 3e et 4e assises de cellules, car les premières sont plus ou moins exfoliées.

Les racines en contact avec l'eau, après 48 h de croissance, présentent tous les stades de la division cellulaire; par contre, dans les racines traitées, il y a disparition presque totale des figures de mitose.

De plus, le chlorure mercurique inhibe la formation et la croissance des pointements radiculaires; c'est ainsi que, pour les racines témoins, le nombre des pointements visibles extérieurement est supérieur de 23 % à celui de ces organes développés en présence de chlorure mercurique M/300 000. La différence est encore plus considérable dans le cas de la solution M/50 000 : 43 %.

En conclusion, l'étude morphologique menée parallèlement à l'examen cytologique, permet d'affirmer, une fois encore, l'existence d'une relation étroite entre composés thiols et croissance. Cependant, il n'a pas été possible de relier l'augmentation de l'activité des composés —SH à une modification quelconque de la croissance, appréciée parallèlement par la mesure des longueurs et du poids sec. Enfin, les groupes thiols ne sont pas les seuls à être touchés, puisque le métabolisme des composés azotés subit également des variations. En présence de chlorure mercurique on observe un déséquilibre dans le rapport azote soluble/azote protéique.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) G. BRUNEL-CAPELLE, *Thèse doct. Sciences Nat.*, Paris, 1955.
(2) M. GOAS, *Thèse doct. Sciences Nat.*, Toulouse, 1959.

(*Laboratoire de Physiologie végétale, Faculté des Sciences, Toulouse.*)

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *Étude des variations du rapport source carbonée/source azotée au cours de la croissance de* Trichothecium roseum *(Pers.) Link.* Note (*) de MM. **Charles Montant** et **Jean Orcival**, présentée par M. Lucien Plantefol.

Après avoir montré la distinction qu'il convient actuellement d'établir entre le rapport glucides solubles/azote, suivant qu'on le considère chez les autotrophes ou les hétérotrophes, nous avons mis en évidence que la modification de ce rapport, sous l'influence d'une croissance régulière, est une des causes principales de l'arrêt progressif de la croissance.

A la suite des travaux de Kraus et Kraybill ([1]), de Molliard ([2]), le rapport carbone/azote — ou plus exactement glucides solubles/azote — apparaît comme une des constantes fondamentales de la physiologie des végétaux. Mais tandis que pour les autotrophes, qui élaborent eux-mêmes leurs glucides, ce rapport se mesure dans les tissus, pour les hétérotrophes, il se manifeste dans la proportion des aliments (carbonés et azotés) qu'on leur fournit ([3]). Pour les autotrophes le taux des glucides, qui dépend de l'insolation et de l'hygrométrie, est nécessairement plus stable que pour des organismes qui se développent au sein d'un milieu non renouvelé. Pour les végétaux chlorophylliens, le rapport C/N commande la croissance et la fructification; pour les micro-organismes, dépourvus de chlorophylle, il faut s'attendre à ce que du rapport C/N interne dépendent les mêmes phénomènes, mais aussi que le rapport C/N externe conditionne le développement global.

Nous prendrons comme exemple un Adélomycète, *Trichothecium roseum* Link, dont le milieu optimal de croissance présente la composition suivante : pour 1000 ml d'eau, glucose 10 g; acide aspartique, 2 g; KH_2PO_4, 2 g; $MgSO_4$, $7H_2O$, 2 g; $FeSO_4$, $7H_2O$, 0,02 g; $ZnSO_4$, 0,02 g; $MnSO_4$, 0,02 g. Il est ramené à un pH de 5,4. Dans un tel milieu, le rapport C/N est de 19,3. Après stérilisation, on ensemence en fioles d'Erlenmeyer de 300 ml, dans 25 ml de milieu nutritif, une dilution de spores prélevées sur une culture sur carotte âgée de 6 jours et obtenue à partir d'une souche conservée au laboratoire depuis un an. Le développement se poursuit à l'obscurité à 21° C.

A intervalles réguliers on recueille séparément les filtrats et le mycélium, qui est pesé après dessiccation jusqu'à poids constant. Sur six filtrats distincts, on dose l'acide aspartique et le glucose restant, le premier par la méthode de Biserte ([5]), le second par polarimétrie.

Les résultats sont groupés sur les figures 1, 2 et 3.

On s'aperçoit que :

1° Le rapport C/N reste constant (19,3) au moins jusqu'au 3e jour; puis, du fait de l'utilisation plus rapide de la source azotée par le cham-

pignon, il tend à augmenter. Cette augmentation coïncide avec la période où la vitesse de croissance est la plus forte.

2° Le changement du rapport C/N (variation de l'ordre de 50 %) est à rattacher à une consommation rapide de l'azote; il pourrait être dû au

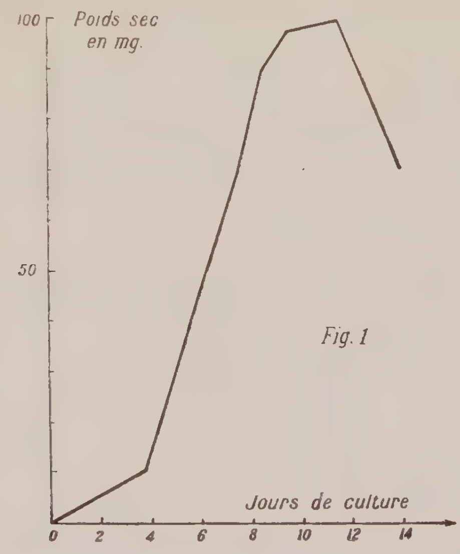


Fig. 1. — Courbe de croissance de *Trichothecium roseum* Link.

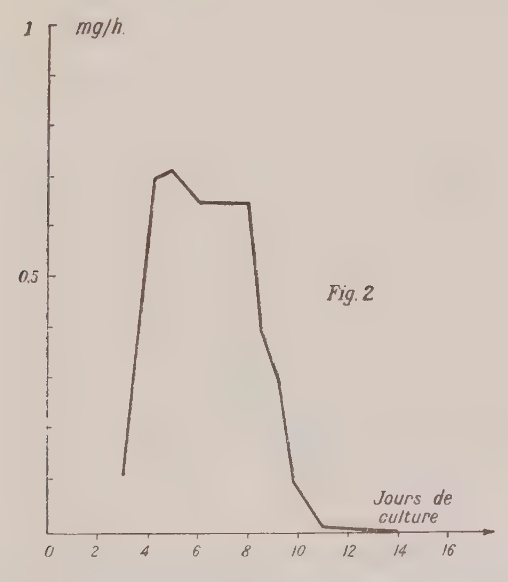


Fig. 2. — Courbe de vitesse de croissance (mg/h) (4).

fait que la synthèse protidique est une des premières à avoir lieu dans le végétal; le glucose n'est utilisé que plus lentement : *a.* pour la synthèse des glucides et autres molécules carbonées; *b.* pour l'élaboration des substances qui constituent la structure des parois cellulaires (mycélium et conidies); *c.* pour la respiration.

3° Après la rupture de l'équilibre normal carbone/azote, dont le taux devient plus élevé, la vitesse de croissance atteint son maximum, puis tend à devenir négative; la croissance s'arrête progressivement. Les phénomènes d'épuisement du milieu, d'accumulation de substances, peut-être toxiques, n'interviennent que postérieurement. D'ailleurs, le maintien du rapport C/N permet, dans certaines limites, une croissance continue, et les substances excrétées par certains micro-organismes, comme nous l'avons montré (5) peuvent apparaître en quantité après que la vitesse de croissance a atteint son maximum.

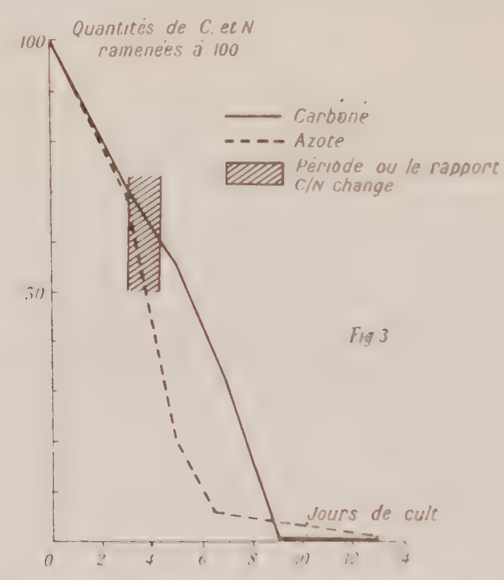


Fig. 3. — Courbe montrant comment évoluent les quantités d'acide aspartique et de glucose fournies (les quantités maximales ont été ramenées à 100) au cours de la croissance.

En conclusion la rupture de l'équilibre des aliments carbonés et azotés pour quelle cause que ce soit — même par l'épuisement normal des aliments sous l'influence d'une croissance régulière — entraîne à plus ou moins longue échéance le déclin de l'organisme. Nous poursuivons l'étude de l'équilibre alimentaire carbone/azote à l'intérieur des cellules du champignon.

(*) Séance du 13 juin 1960.

(1) KRAUS et H. R. KRAYBILL, *Orég. Agr. Expt. Sta. Bull.*, 149, 1918.

(2) M. MOLLIARD, *Œuvres scientifiques*, Barnéoud, Laval, 1936.

(3) R. MORQUER, *Thèse Sc. Nat.*, Paris, 1931.

(4) CH. MONTANT et G. VIALA, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 2433.

(5) G. BISERTE et coll., *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 40, 1958, p. 2067.

(*Laboratoire de Cryptogamie, Faculté des Sciences, Toulouse*).

PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE. — *La guérison de la carence en potassium chez le* Bryophyllum Degremontianum *suivie par l'examen du métabolisme des acides organiques.* Note de MM. **Yves Coïc**, **Louis Roux** et Mme **Christiane Lesaint**, présentée par M. Maurice Lemoigne.

La carence en K du *Bryophyllum* se caractérise en particulier par une forte diminution de la proportion d'acide malique dans l'acidité totale. Le rétablissement de la feuille adulte carencée est rapide (29 h), tandis qu'après ce laps de temps la vieille feuille malgré un enrichissement en K^+ a toujours le faciès d'acides organiques d'une plante carencée.

Les variations nycthémérales des acides organiques de la feuille de *Bryophyllum* sont connues depuis fort longtemps [1]. Nous avons pensé qu'en raison de ces variations rapides nous pourrions peut-être suivre la guérison de la carence en potassium chez le *Bryophyllum Degremontianum* par l'examen du métabolisme des acides organiques.

Nous avons travaillé sur trois types de plantes : *Bryophyllum* normalement alimentés en potassium (K); *Bryophyllum* carencés en potassium (K_0); *Bryophyllum* ayant reçu à partir du temps o de l'expérience (à la tombée de la nuit : 22 h) une nutrition en potassium normale ($K_0 + K$). Les techniques de fixation, d'extraction et d'analyses (uniquement chromatographie sur gel de silice dans ce cas) sont celles décrites par L. Roux et Mme C. Lesaint [2] et nous donnent les acides organiques totaux (libres et salifiés). Elles ont porté sur des feuilles dites adultes (A) et sur de vieilles feuilles (V) (2e rang à partir de la base). Nous avons étudié l'incorporation de $^{14}CO_2$ dans les acides organiques de ces feuilles la nuit (3 h) et à la fin du jour, la durée d'exposition étant de 30 mn.

Caractéristiques des plantes carencées en potassium au point de vue acides organiques. — Chez les feuilles adultes de plantes carencées en potassium, comme chez les non carencées, il y a une variation nycthémérale des acides organiques intéressant principalement l'acide malique et avec un peu moins d'amplitude l'acide citrique et très peu l'acide isocitrique. Mais l'acide malique est en proportion beaucoup moins forte chez les plantes déficientes en potassium; et, la nuit, alors que l'acide malique est l'acide prépondérant chez les feuilles adultes de plantes normales, c'est l'acide isocitrique qui est l'acide prépondérant chez les feuilles adultes de plantes carencées. Les vieilles feuilles présentent d'ailleurs la même différence dans la proportion des divers acides organiques entre les plantes carencées ou non en potassium.

Guérison. — La guérison de la carence est manifestement rapide. 5 h après le début (temps o indiqué) d'une alimentation potassique abondante des plantes carencées, on aperçoit un commencement de guérison se traduisant par une augmentation sensible de la proportion d'acide malique parmi

les acides organiques totaux (libres et salifiés) extraits. Mais 24 h plus tard, c'est-à-dire 29 h après le temps o (3 h du matin), la guérison est manifeste chez les feuilles adultes. Elle apparaît par le rétablissement des proportions normales des trois acides principaux : malique, isocitrique, citrique mais aussi de l'acide succinique, et par une diminution des acides inconnus qui sont en proportion beaucoup plus forte chez les plantes carencées en potassium. Ce résultat est d'autant plus frappant que la



Proportion des divers acides organiques
(prélèvement à 3 h du matin, 29 h après le temps o).

teneur en potassium n'a pas tout à fait doublé en 29 h et est encore 10 fois plus petite que celle des plantes saines. Il est remarquable que les vieilles feuilles carencées dont la teneur en potassium était particulièrement faible mais s'étaient enrichies pour arriver à la nouvelle teneur des feuilles adultes carencées 29 h après l'apport de potassium, ont été incapables de se rétablir au point de vue faciès de répartition des acides organiques.

On peut supposer que le système mitochondrial a pu se rétablir assez rapidement pour assurer une respiration normale conduisant à la formation de substrat permettant la fixation de CO_2 pendant la nuit et à la synthèse d'acide malique. Il est à noter que les plantes carencées n'ont jamais cessé d'incorporer du CO_2 pour donner de l'acide malique, ainsi que nous l'ont montré : d'une part les variations nycthémérales des acides organiques chez les feuilles adultes de plantes carencées et l'activité spécifique rela-

tivement élevée de l'acide malique lors de l'incorporation, la nuit, de CO_2 marqué par ^{14}C.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) *Voir* en particulier : M. WARBURG, *Ueber die Bedeutung der organischen Saüren für den Lebensprozess der Pflanzen. Untersuch. ans. d. Botan. Instit. Zu. Tübingen*, II, p. 53-150 (traduction libre dans : *Ann. Agron.*, 12, 1886, p. 272-289).

(2) L. ROUX et Mme C. LESAINT, *Ann. Physiol. Vég.*, I. N. R. A., no 1, 1959, p. 83-91.

(*Station Centrale de Physiologie végétale,*
Centre National de Recherches agronomiques, Versailles.)

CHIMIE VÉGÉTALE. — *Caractérisation d'un hétéroside flavonique identifié au rutoside présent dans la graine de colza* Brassica campestris *L. var.* Oleifera *Crucifères.* Note (*) de M[lle] **Marie-Thérèse François** et M[me] **Louisette Chais**, présentée par M. Marcel Delépine.

Dans une étude générale sur les pigments des graines oléagineuses, nous avons consacré, en premier lieu, notre attention à la matière première la plus largement cultivée en France, la graine de Colza. Nous disposions de graines qui provenaient, les unes de cultures pratiquées en Lorraine (Coopérative de Bayon) — graines conservées pendant plusieurs années —, les autres, originaires de Normandie.

Le principe de la méthode repose sur la possibilité de se livrer à un épuisement systématique des graines broyées grâce à l'emploi d'un collecteur de fractions « Technicon ».

Après divers tâtonnements, il s'est révélé que le meilleur procédé consiste à éliminer, tout d'abord, les constituants lipidiques, au moyen d'essence « B » rectifiée (É 58-68°). On entraîne ainsi le carotène qui a pu être identifié grâce à la mesure de son absorption dans le visible. Lorsque la totalité de l'huile a été extraite, le solvant est rigoureusement incolore, mais la poudre contenue dans la colonne reste teintée en jaune verdâtre.

Quand l'égouttage est total, on remplace l'ampoule ayant contenu l'essence par un réservoir d'éthanol à 97° et l'on poursuit l'épuisement. Les premières fractions sont incolores et constituées par l'essence qui imprégnait la poudre végétale et à laquelle l'alcool s'est substitué, puis on recueille des fractions colorées en vert, dont l'analyse révèle qu'elles contiennent de la chlorophylle, mais seulement lorsqu'il s'agit de graines relativement fraîches, car ce pigment disparaît dans les graines anciennes. La chlorophylle est rapidement extraite puisque, pour une colonne chargée de 40 g de poudre (au départ), il a suffi de recueillir 6 ml de solution, l'opération n'ayant duré qu'une trentaine de minutes. La coloration passe alors progressivement du vert au jaune brun et il est possible de recueillir une trentaine de fractions de volumes sensiblement égaux à 3 ml dont la teinte s'atténue peu à peu du jaune brun à la limite de coloration jaune.

Chacune de ces fractions, additionnée de quelques gouttes de solution de soude caustique, fournit une coloration jaune vif qui suggère la présence de pigments du groupe des flavones. Cette hypothèse est confirmée par les essais suivants : coloration rouge obtenue en additionnant la solution alcoolique à étudier de tournure de magnésium et d'acide chlorhydrique (réaction de la cyanidine), coloration gris-vert avec le perchlorure de fer, coloration jaune citron avec l'ammoniaque, coloration jaune, puis brune, avec l'acide sulfurique.

Les flavones ont été identifiées à la fois par chromatographie ascendante sur papier Wathmann n° 4 et par examen spectrophotométrique.

On utilise directement les solutions alcooliques (0,0025 ml) en opérant à la température constante de 18° C $\pm$ 1 et pendant 22 h. le développement étant obtenu au moyen du mélange de Partridge (butanol, acide acétique, eau distillée, 4-1-5). Les taches sont révélées sous la lampe de Wood, les trente fractions correspondent toutes à des R_f de 0,54 et 0,80, ce qui suggère qu'il s'agirait du seul rutoside et de son produit d'hydrolyse, le quercétol. Pour confirmer cette hypothèse, nous avons réitéré l'expérience en déposant parallèlement sur le papier chromatographique, les solutions à étudier et les solutions diluées de rutoside pur et de quercétol obtenu au laboratoire par hydrolyse de celui-ci. Dans les conditions de l'expérience, les R_f des taches sont rigoureusement identiques.

De plus, l'épuisement par l'alcool bouillant, de tourteau de colza bien privé de lipides, fournit une poudre de couleur chamois, insoluble dans l'éther, le benzène, le chloroforme, peu soluble dans l'acétone, le trichloréthylène, l'acétate d'éthyle froid, soluble dans l'eau, l'éthanol et le méthanol, dont le point de fusion instantané (bloc de Maquenne) est de 188° ([1]), ce point de fusion ne varie pas si on le détermine sur un produit correspondant au mélange du rutoside témoin et du rutoside extrait de la graine de colza.

Enfin, pour compléter cette identification, la solution alcoolique de rutoside a été examinée au moyen du spectrophotomètre de Jobin et Yvon. Les maximums d'absorption se situent pour les longueurs d'onde ([2]) de 360 et 510 mµ, un pallier se place vers 300 mµ et des minimums apparaissent à 240, 295 et 445 mµ.

Tous ces caractères concordent pour permettre d'affirmer l'existence de rutoside dans la graine de Colza, la poursuite de cette étude sera orientée vers le dosage du glucoside dans la matière première et dans les tourteaux d'huilerie correspondant à divers modes de traitement.

(*) Séance du 20 juin 1960.

([1]) *Ann. Pharm. Frses.*, 17, 1959, p. 411.

([2]) L. Cronenberger, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2424.

(*Laboratoire de Matière médicale, Faculté de Pharmacie, Nancy.*)

ZOOLOGIE. — *Le genre* Pinctada *Röding et le problème de l'espèce.* Note (*) de M. **Gilbert Ranson**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

La réalité de l'espèce, du point de vue morphologique, est démontrée par la mise en évidence, dans le genre *Pinctada* Röding de trois caractères spécifiques constants : la prodissoconque ou coquille larvaire, la membrane anale et la forme de l'ensemble constitué par le muscle adducteur des valves et le muscle rétracteur du pied (exprimé sur l'intérieur des valves, par l'impression musculaire).

Pour discuter valablement de toutes les questions concernant l'espèce et surtout du problème de l'évolution des espèces, il est indispensable de savoir définir correctement celles-ci. Il faut en finir avec l'incertitude régnant chez certains esprits, à savoir si l'espèce est une réalité ou une entité, une vue de l'esprit.

Pour obtenir ce résultat il faut utiliser toutes les techniques, et observer les organismes à tous leurs stades de croissance et dans tous leurs éléments. Pour les Ostréidés j'ai passé de longues années à isoler les coquilles larvaires ou prodissoconques de toutes les espèces d'Huîtres du monde. J'ai pu montrer qu'à ce stade l'espèce est morphologiquement bien définie.

Pour les Aviculidés du genre *Pinctada*, comme pour les Ostréidés, les auteurs ont décrit les espèces en faisant état, presque uniquement, des caractères extérieurs de la coquille. Or ces derniers aussi bien la forme que la couleur, sont extrêmement variables. Elles varient en fonction des conditions du milieu. Par ailleurs, de jeunes coquilles vertes deviennent brusquement noires ou des jaune paille deviennent brunes avec des raies blanches, etc.

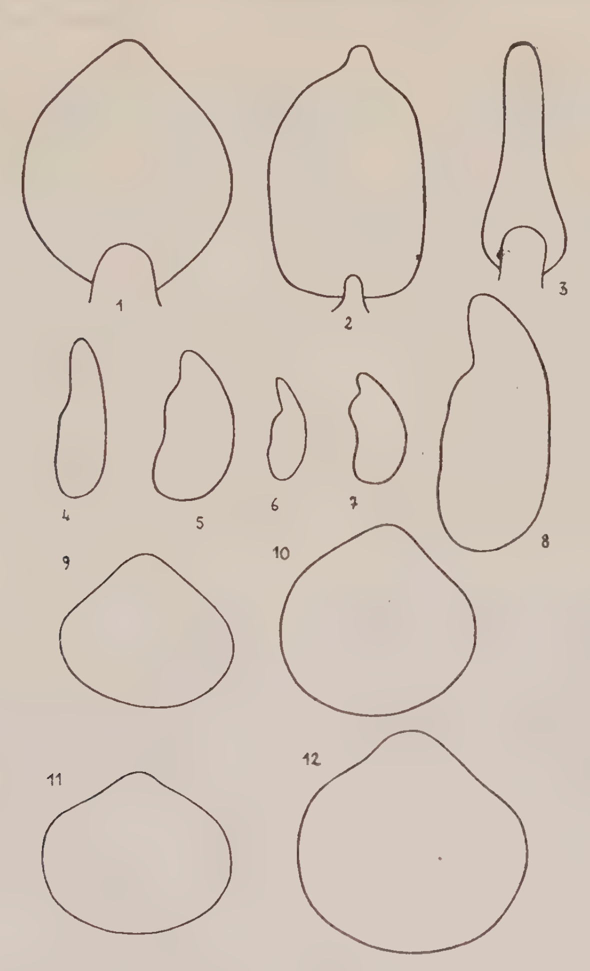
La confusion est telle que dix noms ont été donnés, par un auteur, à des formes de la même espèce, *Pinctada radiata*, en Mer Rouge.

On ne s'est pas attaché à rechercher systématiquement le ou les caractères vraiment spécifiques. Ces derniers peuvent varier légèrement dans une espèce considérée, mais selon des modalités et dans des limites telles que la confusion avec ceux d'une espèce voisine ne peut avoir lieu.

Toutefois, dans sa très belle étude sur l'anatomie de l'« Huître perlière » de Ceylan, Herdman, en 1904 [1], a attiré l'attention sur un élément de l'anatomie de cette Huître perlière : la membrane anale, particularité anatomique si curieuse des Aviculidæ. Il avait constaté que quelques espèces observées par lui, présentaient des membranes anales de forme différente. Il avait soupçonné que ce caractère pourrait servir à la distinction des espèces. Hynd, en 1954 [2] a confirmé l'observation de Herdman et a figuré les membranes anales de quatre espèces. J'ai obtenu, grâce au matériel qui m'a été adressé, celles des autres, inconnues jusqu'ici.

Herdman dans sa belle étude (1903) [1] sur la biologie de l'« Huître perlière, a décrit les stades de développement de l'œuf jusqu'au moment

où la larve pélagique se fixe au sol sur un support. Il a fort bien représenté la forme définitive de la coquille de la larve pélagique, qu'on appelle prodissoconque. Mais n'ayant pas, dans ce cas, de terme de comparaison, il n'a pu soupçonner qu'il y avait là également un caractère important de



1. Membrane anale de *Pinctada nigra* (Gould).
2. Membrane anale de *Pinctada margaritifera* (L.).
3. Membrane anale de *Pinctada maculata* (Gould).
4. Impression musculaire de *Pinctada chemnitzi* (Philippi).
5. Impression musculaire de *Pinctada martensi* (Dunker).
6. Impression musculaire de *Pinctada nigra* (Gould).
7. Impression musculaire de *Pinctada radiata* (Leach).
8. Impression musculaire de *Pinctada maxima* (Jameson).
9. Vue, en plan, d'une valve de la prodissoconque de *Pinctada radiata* (Leach).
10. Vue, en plan, d'une valve de la prodissoconque de *Pinctada mazatlanica* (Hanley).
11. Vue, en plan, d'une valve de la prodissoconque de *Pinctada martensi* (Dunker).
12. Vue, en plan, d'une valve de la prodissoconque de *Pinctada nigra* (Gould).

la distinction des espèces. Disposant d'un matériel suffisant, j'ai pu reconnaître les prodissoconques de presque toutes les espèces du genre *Pinctada* actuellement vivantes. L'étude des Ostréidés m'a appris que sur

les jeunes Huîtres bien conservées, les deux valves de la prodissoconque sont intactes à l'extrémité de la coquille définitive. La forme générale des valves de la prodissoconque varie selon l'espèce. C'est un très bon caractère spécifique.

Enfin l'examen de la riche collection du Laboratoire de Malacologie m'a permis de constater l'importance très grande du point de vue de la distinction des espèces, d'un caractère très commun sur lequel les auteurs n'avaient pas eu, jusqu'ici, leur attention attirée. Il s'agit de la forme de l'ensemble du muscle adducteur des valves et du muscle rétracteur du pied, ensemble qui se traduit, à l'intérieur des deux valves par ce qu'on nomme l'impression musculaire. Lorsqu'on examine un très grand nombre d'échantillons avec des exemplaires ayant vécu dans des conditions exceptionnelles, plus ou moins déformés, on constate certes de petites variations. Mais elles sont si faibles qu'on reconnaît très rapidement le mode spécifique auquel ils se rapportent.

Nous voici donc en présence, pour distinguer les espèces de ce genre, de trois très bons caractères spécifiques : la membrane anale, la prodissoconque et l'impression musculaire. J'aurai, pour la première fois, mis en évidence les deux derniers. L'espèce est donc bien ici encore une réalité morphologique.

Un travail comportant la distinction et la classification des espèces du genre *Pinctada* est achevé et paraîtra bientôt.

Je considère qu'il y a dans les résultats ainsi obtenus, une contribution importante au problème de l'espèce et surtout de l'évolution des espèces. Nous pouvons dire dès maintenant que ce ne sont pas les facteurs extérieurs pouvant agir sur les caractères de la coquille qui sont en jeu ici. Ce ne sont pas ces facteurs extérieurs ni la concurrence vitale qui peuvent modifier la prodissoconque, la membrane anale et la forme des muscles adducteur et rétracteur. Les facteurs qui interviennent doivent agir plus profondément et atteindre la structure moléculaire même du protoplasma. Cela nous amène à considérer l'animal comme un tout, dont les éléments ne peuvent se modifier isolément. Il y a coordination des éléments de l'ensemble. Comment peut-on l'envisager ? C'est ce que j'essaierai de préciser plus tard.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) W. A. Herdman, *Report Govt. Ceylon Pearl Oyster Fish.*, London, Pt. 1, 1903, p. 1-146 et Pt. 2, 1904, p. 1-76.

(2) J. S. Hynd, *Austral. J. Mar. Freshw. Res.*, Melbourne, 6, 1955, p. 98-137.

EMBRYOLOGIE. — *Sur l'existence d'un diverticule du cloaque pouvant donner naissance à l'uretère chez l'embryon de Poulet.* Note (*) de Mlle **Simone Calame**, présentée par M. Robert Courrier.

En l'absence du canal de Wolff, la paroi cloacale de l'embryon de Poulet est capable de former un diverticule analogue à la partie postérieure d'un canal de Wolff normal et donnant naissance à l'uretère.

La différenciation du système urogénital de l'embryon de Poulet débute au stade 12 somites par la formation du pronéphros lequel donne naissance au canal de Wolff entre les 10e et 14e somites. Au-delà du 15e somite le canal de Wolff progresse dans l'aire intermédiaire, de façon autonome, en direction caudale, et atteint l'intestin postérieur auquel il se joint au stade 35 somites. Sur le trajet du canal de Wolff, entre les 15e et 30e somites, des tubules mésonéphrétiques se différencient dans le mésenchyme mésonéphrogène et s'abouchent au canal.

Dans une Note précédente [1] j'ai montré à la suite de Boyden [2], Grünwald [3], que le canal de Wolff est l'inducteur du mésonéphros. Si l'on arrête le canal de Wolff avant qu'il ne pénètre dans la zone mésonéphrogène, les tubules mésonéphrétiques ne se différencient pas. La technique utilisée est la suivante : on place un obstacle de tissu (foie d'embryon de Poulet de 8 jours) dans l'aire intermédiaire d'un jeune embryon de Poulet, sur le trajet du canal de Wolff et en arrière de l'extrémité caudale du canal, c'est-à-dire juste au-delà du dernier somite différencié pour un stade compris entre les stades 15 et 30 somites. L'extrémité du canal vient buter contre cet obstacle et le canal est arrêté à ce niveau. Si l'opération a lieu au stade 15 somites, le mésonéphros ne se forme pas. Au stade 18-20 somites, il existe un fragment de canal entre les 15e et 20e somites et un amas de mésonéphros se différencie au niveau du canal formé.

Dans de tels embryons, on observe fréquemment, en position caudale, la présence d'un court diverticule issu du cloaque. La position et la structure de ce diverticule sont analogues à celles d'un tronçon postérieur de canal de Wolff. Il donne naissance à l'uretère.

J'ai réalisé une série expérimentale de 132 embryons pour étudier ce phénomène. Le canal de Wolff est arrêté à différents niveaux entre les 15e et 26e somites. Les embryons sont sacrifiés à des âges échelonnés entre le 3e et le 12e jour d'incubation. La présence d'un diverticule est notée après dissection des embryons sacrifiés au-delà du 4e jour. L'étude histologique confirme que, dans tous ces cas, le canal de Wolff n'a pas franchi l'obstacle placé sur son trajet.

Ce diverticule existe dans 35 % des cas chez des embryons de 6 jours. Il donne naissance à l'uretère. A 8, 10 et 12 jours j'ai pu étudier quelques

embryons qui possèdent un métanéphros parfaitement différencié bien que le canal de Wolff et le mésonéphros soient limités à la région tout à fait antérieure ou n'existent pas (tableau).

Tableau des opérations.

Age (jours).	Nombre de cas.	Présence d'un diverticule.	Côté opéré gauche.	Côté opéré droit.	Présence d'un uretère.	Présence d'un métanéphros.
3-4	12	6	0	6	Trop jeunes	Trop jeunes
6	36	14	7	7	13	Trop jeunes
7	36	9	5	4	6	Trop jeunes
8	28	6	3	3	3	3
10-12	12	4	3	1	2	2

La formation d'un tel diverticule ou « duct-like structure » dans les mêmes conditions expérimentales a été signalée chez les Batraciens par Van Gertruyden ([4]), Holtfreter ([5]). Boyden ([6]) a décrit chez le Poulet la formation d'anses ou de digitations cloacales au moment de l'arrivée du canal de Wolff au niveau du cloaque.

Le pourcentage des cas obtenus dans mes expériences semble indiquer qu'il s'agit là d'un phénomène de double assurance.

(*) Séance du 20 juin 1960.

([1]) *Comptes rendus*, 248, 1959, p. 3033.

([2]) A. Boyden, *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 24, 1927, p. 572.

([3]) P. Grünwald, *Roux' Arch.*, 136, 1937, p. 786.

([4]) J. Van Gertruyden, *Arch. Biol.*, 57, 1946, p. 145-181.

([5]) J. Holtfreter, *Rev. Canad. Biol.*, 3, 1944, p. 220-250.

([6]) A. Boyden, *Amer. J. Anat.*, 30, 1922, p. 163-202.

(*Laboratoire d'Embryologie expérimentale du Collège de France et du C.N.R.S.*)

ACOUSTIQUE PHYSIOLOGIQUE. — *Sur la structure et la forme de l'émission vocale au cours de la conversation téléphonique.* Note de M. **Pierre Chavasse**, présentée par M. Camille Gutton.

Nous avons signalé antérieurement [1] l'existence, dans la voix naturelle parlée, d'émissions hydrodynamiques et infrasonores d'intensité très supérieure à celle des fréquences du spectre audible et l'importance essentielle de leur action sur le fonctionnement des microphones à charbon. Nous avons, avec M. Fromentin, analysé ce mécanisme en étudiant l'intensité, la forme évolutive et la fréquence de ces composantes. A cet effet, nous avons, au moyen d'un microphone à condensateur spécial, « polarisé par une tension de haute fréquence (55 000 Hz) », fonctionnant réellement en piston, de manière à éviter la création d'un champ hétérogène avec composantes positives et négatives aux divers points de la surface, et qui répondait mécaniquement et électriquement à des forces statiques ou de très basse fréquence, mesuré et oscillographié les tensions produites par l'émission atmo-pneumonique dont les sons de la parole ne sont qu'une modulation, mais dont ils reçoivent leur énergie.

Les mesures qui ont porté sur 20 sujets (14 hommes et 6 femmes) ont fait apparaître les résultats suivants qui sont exprimés non seulement en baryes (amplitudes maximales), mais en baryes par seconde (vitesses de variation dans le temps, dont l'influence paraît très importante).

	Impulsions hydrodynamiques.			Infrasons.		
	Pressions (baryes).	Temps d'établissement. (s).	Temps de décroissance (s).	Pressions (baryes).	Temps d'établissement (s).	Temps de décroissance (s).
Moyennes	126	0,015	0,03	110	0,03	0,08
Maximums	240	0,02	0,08	160	0,1	0,15
Minimums	30	0,01	0,01	20	0,01	0,02

	Vitesses de		Vitesses de	
	croissance (baryes/s).	décroissance (baryes/s).	croissance (baryes/s).	décroissance (baryes/s).
Moyennes	8 500	5 500	2 713	1 279
Maximums	15 000	24 000	7 000	5 500
Minimums	1 000	1 000	500	375

Si l'on compare les valeurs des pressions hydrodynamiques ou infrasonores à celles des composantes vocales audibles (de 5 à 10 baryes dans les conditions de mesures précédentes) on constate qu'elles sont de 2 à 44 fois plus élevées (6 à 33 dB), ce qui, ajouté à leur grande vitesse de variation (ondes à front raide), explique leur action sur le mécanisme non linéaire de la réponse des microphones à charbon à la voix humaine.

Les fréquences des émissions infrasoniques — distinctes de celles des poufs d'air — sont très basses et comprises entre 1 et 10 p/s. Elles se rapprochent donc de la fréquence d'émission des phonèmes [2].

[1] *Comptes rendus*, 244, 1957, p. 1902.
[2] *Comptes rendus*, 224, 1947, p. 1620.

ENDOCRINOLOGIE. — *Activité œstrogénique du corps jaune en réponse à la testostérone chez la Ratte en lactation ou recevant de la réserpine.* Note de M. **Jean-Jacques Alloiteau**, présentée par M. Robert Courrier.

La fonction œstrogénique latente révélée chez les rattes ainsi traitées semble une propriété commune à tous les types de corps jaunes. Un androgène fourni par le corps jaune ou par le placenta serait à l'origine de l'œstrogène spontanément sécrété par le corps jaune de fin de gestation.

Le corps jaune (C. J.) sécrète la progestérone; il a aussi, au moins chez la Ratte en fin de gestation, une fonction œstrogénique ([1]). Cette fonction, d'autres types de C. J. la possèdent en puissance : il suffit, pour la révéler, de mettre ces C. J. en présence d'un androgène convenable, qui est probablement converti en œstrogène. Ceci est vrai pour le C. J. non fonctionnel de la Ratte sans hypophyse ([2]), pour le C. J. — fonctionnel ([3]) — de la Ratte à hypophyse greffée dans le rein ([4]) et pour le C. J. de la Ratte intacte ([5]).

Nous allons montrer que cette fonction peut encore être révélée chez la Ratte qui allaite ou reçoit de la réserpine.

1. Rattes en lactation. — Le C. J. de la Ratte qui allaite permet le déciduome traumatique : il est fonctionnel; mais l'aspect du vagin écarte l'idée qu'une quantité appréciable d'œstrogène puisse être sécrétée par l'ovaire. La sécrétion d'un œstrogène par le C. J. de lactation mis en présence de propionate de testostérone (P. T.) ressort des expériences suivantes :

Expérience A. — *a.* Chez six rattes bonnes nourrices on commence, en moyenne 6 jours après la mise-bas et pour 8 jours, un traitement sous-cutané quotidien de 1 mg de P. T. Chez les quatre femelles ayant conservé des petits — sévèrement sous-alimentés — la mucification vaginale, très belle, comme en fin de gestation, prouve l'intervention d'un œstrogène.

b. Six rattes sont traitées de la même façon, mais après ablation des C. J. Le vagin, très médiocrement mucifié lorsque ont été épargnés un ou deux C. J., est, pour une destruction plus complète, proche de l'état de repos, indiquant l'absence d'œstrogène. Les petits sont ici mieux nourris.

Expérience B. — Dix rattes en lactation ont reçu 100 μg de P. T. par jour; quatorze ont reçu 50 μg. Trois fois dans le premier groupe, deux fois dans le second, la mucification est de type gestatif. Dans les autres cas, elle est médiocre ou nulle. Ni le nombre des petits (de 1 à 9), ni la date d'instauration ou la durée du traitement ne semblent influencer l'état du vagin.

Expérience C. — Des fragments de gélatine contenant en suspension de 500 à 700 μg de P. T. ont été insérés, une seule fois, dans la capsule ovarienne de six rattes en lactation : quatre fois la mucification a été

belle. Des doses comparables placées sous la capsule rénale de quatre autres femelles en lactation sont restées pratiquement inefficaces.

2. Rattes recevant de la réserpine. — La Ratte recevant de la réserpine est dans un état comparable à la lactation [6]. Sachant que l'œstrogène provoque la fermeture des acini mammaires et, en présence de progestérone (ou de testostérone), une très belle mucification vaginale [7], les expériences suivantes montrent que, chez la Ratte traitée à la réserpine, le P. T. fait apparaître un œstrogène, mais seulement s'il y a des C. J.

Expérience A. — *a*. Cinq rattes reçoivent, dès l'œstrus et pendant 10 jours, une injection sous-cutanée quotidienne de 125 μg de réserpine (Serpasil Ciba). L'utérus pèse en moyenne 154 mg; le vagin est à peine mucifié, presque au repos; les acini mammaires sont très dilatés.

b. Cinq rattes sont traitées comme les précédentes; de plus, 5 jours après l'œstrus, on institue des injections quotidiennes de 50 μg de P. T. L'utérus pèse 329 mg; la mucification vaginale, bien plus belle et plus haute que chez les témoins est, trois fois, typiquement gestative; les acini mammaires ne sont ouverts que chez une ratte dont les C. J. étaient médiocres.

De l'œstrogène apparaît donc sous l'effet du P. T. chez les rattes traitées par la réserpine. L'expérience suivante prouve que des C. J. doivent être présents.

Expérience B. — *a*. Quatre rattes reçoivent 125 μg de réserpine et 100 μg de P. T. Le poids utérin est de 728 mg; le vagin est typiquement gestatif; les acini sont fermés.

b. Neuf rattes reçoivent le même traitement, mais, avant de commencer le P. T., on énuclée les C. J. Le poids utérin tombe à 346 mg; bien qu'il y ait parfois quelques restes de C. J., la mucification vaginale est de type lactation, bien moins belle que celle des animaux ayant tous leurs C. J. Six fois les acini sont largement ouverts, trois fois ils le sont à peine.

c. Pour compenser la carence en progestérone, six rattes traitées comme celles du groupe précédent reçoivent en outre chaque jour 2 mg de progestérone. Lorsque les C. J. ont été correctement enlevés, les acini sont largement ouverts; le vagin confine au repos; l'utérus pèse 238 mg.

d. Pour obvier au délabrement ovarien inhérent à l'ablation des C. J., on utilise des rattes en œstrus permanent, sans C. J. Quatre femelles de ce type reçoivent réserpine et progestérone (2 mg par jour). L'utérus pèse 436 mg; les acini, inégalement développés, sont distendus; le vagin est au repos. Un lot analogue reçoit en plus 100 μg de P. T. par jour; le vagin est encore au repos; les acini sont très distendus; l'utérus pèse 474 mg.

Commentaires. — Comme d'autres déjà connus [2], [4], [5], les deux types de C. J. étudiés ici sécrètent un œstrogène, lorsqu'on les met en présence d'un androgène; la fonction œstrogénique semble donc exister dans toutes les catégories de C. J. de la Ratte. Sans discuter la conversion

possible de l'androgène en œstrogène, qui nous semble le mécanisme le plus vraisemblable de la biosynthèse de l'œstrogène par le C. J. [7], interrogeons-nous sur la signification de cette fonction œstrogénique. Reportons-nous à la deuxième moitié de la gestation : le C. J. sécrète alors en abondance un œstrogène [1], sans lequel la gestation ne peut évoluer normalement. Tout jeune C. J. pouvant être appelé à devenir gestatif, il est normal qu'il possède les structures nécessaires à cette fonction œstrogénique. Nous avions pensé que, différant en cela de son homologue hypophysaire, la prolactine placentaire stimulerait ces structures [1]. Mais la Ratte sans hypophyse apporte la preuve que la fonction œstrogénique ne requiert nulle stimulation lutéotrophe [2]. Par contre, il suffit, semble-t-il, de mettre n'importe quel type de C. J. en présence d'un androgène convenable pour qu'il sécrète un œstrogène. On peut se demander si la présence d'un androgène, condition suffisante, n'est pas également une condition nécessaire. S'il en est ainsi, le C. J. de fin de gestation ne fabriquerait un œstrogène que parce que lui serait offerte une substance de nature androgénique née soit dans le C. J. lui-même sous l'effet de la prolactine placentaire, soit dans le placenta.

(1) J. J. Alloiteau, *C. R. Soc. Biol.*, 152, 1958, p. 1343.
(2) R. L. Noble, *J. Endocrinology*, 1, 1939, p. 184.
(3) M. Nikitovitch-Winer et J. W. Everett, *Endocrinology*, 62, 1958, p. 522.
(4) J. J. Alloiteau, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 1718.
(5) J. J. Alloiteau, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2410.
(6) G. Mayer, J. M. Meunier et J. Rouault, *Comptes rendus*, 247, 1958, p. 524.
(7) J. J. Alloiteau et G. Acker, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 1566.

(*Laboratoire de Morphologie expérimentale et Endocrinologie, Collège de France.*)

ENDOCRINOLOGIE. — *Sur l'existence de deux types de substances à activité hypophysiotrope : α-CRF et β-CRF.* Note de MM. **Roger Guillemin, Andrew Schally, Richard Andersen, Harry Lipscomb** et **John Long**, transmise par M. Robert Courrier.

α-CRF est une substance, ou un groupe de substances, à faible activité hypophysiotrope *in vivo* et *in vitro* dont le comportement chromatographique et la composition en acides aminés en font des analogues d'α-MSH. β-CRF est un peptide qui semble apparenté à la vasopressine et dont l'activité hypophysiotrope est 50 à 100 fois supérieure à celle d'α-CRF.

La chromatographie sur carboxyméthylcellulose (CMC) d'un extrait posthypophysaire permet, dans des conditions que nous avons décrites antérieurement ([1]), de séparer ocytocine, β-MSH, α-MSH ([2]), CRF ([3]), lysine-vasopressine (LVP), arginine-vasopressine et hormone corticotrope (ACTH). Cependant α-MSH, CRF et LVP ne sont jamais parfaitement séparés et se trouvent en général dans un pic unique. Nous avons démontré que ce concentrat (α-MSH, CRF, LVP) provenant de la chromatographie sur CMC peut être résolu par la technique de Craig (CCD) en deux pics principaux avec des coefficients de distribution *k* extrêmement différents ([4]) : l'un contient LVP, l'autre α-MSH et une substance à activité CRF mal séparée de α-MSH, confirmant ainsi les résultats rapportés par Gros et de Garilhe ([5]). De Garilhe ([6]) et nous-mêmes ([7]), avons démontré par la suite que cette activité CRF pouvait être séparée de la molécule d'α-MSH ([8]). Nos derniers résultats montrent que l'activité CRF qui accompagne α-MSH est due à un ou plusieurs peptides séparés d'α-MSH par CMC ou chromatographie sur papier dans les systèmes BuOH, AcOH, H_2O, 4/1/5; acétone-H_2O, 5/2, 30 C; *m*-crésol-H_2O, 95/5, et qui contiennent les acides aminés suivants : méth, sér, tyr, gluta, his, phé, arg, try, gly, lys, pro, val, thré, ala, leu, c'est-à-dire tous les acides aminés de α-MSH plus thré, ala, leu. L'activité CRF est observée *in vivo* ou *in vitro* dans les tests décrits antérieurement ([9]), ([10]) à des doses de 0,5 à 2,0 μg. La substance a une activité ACTH inhérente de 0,1 u/mg, vasopressive de 0,1 à 0,2 u/mg et mélanophorétique de 0,1 à 0,3.10^7 u/mg, soit 1/10e à 1/5e de α-MSH. A cause de ses ressemblances avec α-MSH, cette substance ([11]) à activité CRF a été appelée α-CRF.

Ces résultats nous ont conduits à considérer l'hypothèse qu'α-CRF n'est pas identique avec la substance que nous avions purifiée antérieurement par d'autres méthodes et dont les caractéristiques semblent être assez différentes de celles rapportées pour α-CRF : présence de cystéine dans la molécule, activité hypophysiotrope spécifique 50 à 100 fois plus élevée que celle d'α-CRF, pas d'activité corticotrophique inhérente. Nous avons alors décidé d'explorer en détails le pic contenant LVP après distribution

par CCD. Utilisant la chromatographie sur papier dans les systèmes BuOH, AcOH, H_2O, 4/1/5 et *m*-crésol, H_2O, 95/5, de même que sur CMC dans des conditions spéciales [12] où lys-vasopressine et α-MSH ont des *k* inversés par rapport à ceux des conditions usuelles [1], nous avons pu mettre en évidence une activité CRF considérable qui n'est pas due à lys-vasopressine et qui se trouve sur la partie descendante de la courbe (Folin-Lowry) du pic de lys-vasopressine.

Cette substance qui semble être un analogue de la vasopressine, contient de la cystéine, et stimule la décharge d'ACTH *in vivo* et *in vitro* à des niveaux de 0,05 à 0,1 μg. La substance correspondant à cette activité hypophysiotrope a été appelée β-CRF.

La substance à activité CRF rapportée par Gros et de Garilhe [5] semble bien correspondre à ce que nous appelons α-CRF. α-CRF et β-CRF sont des peptides à point isoélectrique très élevé ($\geq$ pk α-MSH). Nos résultats ne sont donc pas en accord avec la récente observation de Royce et Sayers [13] : la présence de deux zones d'activité CRF dans leur séparation sur CMC d'un extrait hypothalamique ne peut s'expliquer que par la présence d'un composant acide ou, plus probablement, par une surcharge de la colonne de CMC dans les conditions utilisées par ces auteurs. En effet, la séparation sur CMC d'un extrait d'hypothalamus de porc préparé comme dans [1] nous a conduits à la mise en évidence d'une seule zone d'activité CRF, immédiatement précédant l'émergence de LVP. C'est là un stage de purification où α-CRF et β-CRF sont encore confondus, si bien que nous ne savons pas encore si les deux types de molécule α-CRF et β-CRF sont présents dans l'hypothalamus ou si l'on n'y trouve que β-CRF.

Devant la différence importante des activités hypophysiotropes spécifiques de β-CRF et α-CRF et considérant les résultats préliminaires sur leurs acides aminés il semble que β-CRF soit le médiateur neurohumoral de la décharge d'ACTH alors que α-CRF représenterait un analogue d'α-MSH, fragment possible vers la biosynthèse de l'ACTH. Nous étudions actuellement l'homogénéité de nos préparations de β-CRF pour en aborder la composition et la structure [14].

(1) A. V. Schally et R. Guillemin, *Texas Rep. Biol. and Med.*, 18, 1960, p. 133.

(2) MSH : hormone mélanophorétique.

(3) CRF : « corticotropin releasing factor », ou facteur hypophysiotrope.

(4) R. Guillemin, A. V. Schally, R. N. Andersen et J. M. Long, *Fed. Proc.*, 19, 1960, p. 239.

(5) C. Gros et M. Privat de Garilhe, *Comptes rendus*, 249, 1959, p. 2234.

(6) M. Privat de Garilhe, *Séminaires Collège de France*, février 1960 (sous presse).

(7) R. Guillemin, *Séminaires Collège de France*, février 1960 (sous presse).

(8) A. V. Schally, R. N. Andersen, H. S. Lipscomb, J. M. Long et R. Guillemin, *Proc. Endocrine Soc. meet.*, 28, 1960.

(9) R. Guillemin, W. E. Dear, H. S. Lipscomb et B. J. Nichols, *Proc. Soc. exp. Biol. Med.*, 101, 1959, p. 107.

(10) R. Guillemin, W. R. Hearn, W. R. Cheek et D. E. Housholder, *Endocrinology*, 60, 1957, p. 487.

(11) Il semble bien qu'il s'agisse en fait de plusieurs substances, toutes très proches dans leur composition en acides aminés et qui se présentent comme des analogues d'α-MSH d'origine naturelle.

(12) A. V. Schally, R. N. Andersen, J. M. Long et R. Guillemin, *Proc. Soc. exp. Biol. Med.*, 1960 (sous presse).

(13) P. C. Royce et G. Sayers, *Proc. Soc. exp. Biol. Med.*, 103, 1960, p. 447.

(14) Travaux subventionnés par divers octrois du Ministère américain de la Santé Publique (U.S.P.H.S.), n° A 2543 et contrat AF 41 (657)-224.

(*Department of Physiology,*
Baylor University College of Medicine, Houston, U. S. A.,
et Laboratoire de Morphologie expérimentale et Endocrinologie,
Collège de France.)

BIOLOGIE. — *Nouvelle preuve d'un déterminisme imaginal des castes chez* Halictus marginatus *Brullé*. Note de Mme **Cécile Plateaux-Quénu**, présentée par M. Pierre-P. Grassé.

L'absence de polymorphisme morphologique entre reines et ouvrières de *Halictus marginatus*, jointe à la biologie particulière de cette espèce sociale, nous incita à formuler l'hypothèse d'un déterminisme imaginal des castes. Une expérience préliminaire (1) étayait cette hypothèse : treize femelles, futures ouvrières, écloses en août 1958, furent prélevées dans un nid de troisième année, le nid A, et introduites, le 6 octobre 1958, dans un nid de dernière année, le nid B, ouvert, d'où s'échappaient des mâles; elles demeurèrent dans B tout l'hiver en compagnie des jeunes fondatrices écloses dans ce nid.

Le comportement normal d'une ouvrière issue de A est de demeurer dans A, d'y construire de nouvelles cellules puis de s'alimenter sur les fleurs avant d'entreprendre le stockage du pollen dans A. Le comportement normal d'une fondatrice issue de B est de quitter B, de s'alimenter sur les fleurs puis de chercher, aux environs de B, un emplacement favorable à la construction d'un terrier, enfin d'entreprendre le creusement puis l'approvisionnement d'un nid nouveau.

Les treize femelles marquées, qui étaient destinées à devenir ouvrières, ont manifesté, au printemps 1959, un comportement typique de fondatrices. L'une d'entre elles, marquée d'un point rouge à l'abdomen, creusa sous nos yeux, le 2 avril 1959, un terrier, le nid C, à une distance de 1 m de B.

Cette expérience nous apprit que le comportement de fondation n'était pas déterminé à la mue imaginale et que les circonstances biologiques auxquelles étaient soumis les adultes, après leur éclosion, semblaient influencer leur destinée. Il restait cependant, avant de pouvoir affirmer que la femelle rouge était réellement devenue une « reine », ne différant en rien d'une reine normale, à suivre son comportement ultérieur.

Le 12 avril 1960, nous déterrâmes le nid C, creusé par l'insecte un an auparavant. Ce nid venait de s'ouvrir. Nous y trouvâmes la femelle rouge et quatre femelles-filles. La femelle rouge, longue de 9,5 mm, était fécondée et renfermait du corps gras en abondance; ses ovaires présentaient un fort épaississement au niveau du germarium. Les quatre femelles-filles mesuraient respectivement 9,5, 9,5, 9 et 8,2 mm; elles étaient vierges et avaient des ovaires à l'état de repos.

La femelle rouge, après avoir manifesté, en fondant un nid nouveau, un comportement typique de fondatrice, est donc devenue, par la suite,

une reine, en tous points comparable à la reine d'un nid de deuxième année :

— fécondée : sa spermathèque était remplie de sperme;

— féconde : elle donna naissance à quatre filles, or toute reine produit, au cours de sa première année de vie, de deux à six ouvrières [1];

— longève : elle était âgée de 20 mois au moment du déterrage; elle avait passé au repos deux hivers successifs : 1958-1959 et 1959-1960.

Or cette femelle rouge, si elle était restée dans son nid d'origine, le nid A, âgé de 3 ans, serait demeurée vierge, stérile et serait morte, comme une ouvrière, au bout d'un an, à la fin de l'été ou, au plus tard, à l'automne 1959.

Ces faits nouveaux plaident en faveur d'un déterminisme imaginal des castes chez *Halictus marginatus* : les femelles naîtraient morphologiquement et physiologiquement semblables et ne seraient différenciées, fonctionnellement, que par la suite; *dans cette différenciation, la fécondation interviendrait de façon prépondérante*. De plus, *l'inhibition exercée par la reine sur ses filles empêcherait le développement de leurs ovaires.*

Il eût été intéressant de laisser subsister le nid de la femelle rouge pendant plusieurs années, jusqu'à la production simultanée de mâles et de femelles. Il nous fut malheureusement impossible d'attendre cet évènement : la bourgade de *Halictus marginatus* était menacée d'une mort imminente par suite du goudronnage du chemin sur lequel elle avait pris naissance.

[1] C. Plateaux-Quénu, *Thèse* (*Ann. Biol.*, 25, fasc. 9-10-11-12, 1959, p. 325 à 345).

(*Laboratoire d'Évolution des Êtres organisés, Paris et Station biologique des Eyzies, Dordogne.*)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Structure chimique de la « substance royale » de la reine d'abeille* (Apis mellifica *L.*). Note de MM. **Michel Barbier** et **Edgar Lederer**, présentée par M. Jacques Duclaux.

Nous proposons pour la « substance royale » (« Queen Substance ») la formule (I) d'un acide céto-9-décène-2-oïque.

La reine d'abeille sécrète par ses glandes mandibulaires un mélange de substances, dont trois activités biologiques ont été étudiées :

1° l'attractivité pour de jeunes abeilles ouvrières [1], [2];

2° l'inhibition du développement des ovaires [3], [4];

3° l'inhibition de la construction des cellules royales [3], [5].

Au cours d'une étude chimique de la sécrétion des reines d'abeilles, nous avons isolé en juin 1958 [12] un acide F 52-55° (après cristallisation dans le mélange acétone-pentane). Le poids d'équivalence déterminé par titrage potentiométrique est de 183,1; pK 5,8. Le spectre ultraviolet, mesuré dans l'éthanol, montre un maximum à 208,5 mμ ($\varepsilon = 15\,000$) caractéristique d'un acide α-β-insaturé. Ceci est vérifié par la présence de bandes à 5,92 et 6,08 μ dans le spectre infrarouge.

A ce moment, l'intérêt biologique de cette substance n'avait pas été reconnu. A la suite de la Note de Butler, Callow et Johnston [5] décrivant une substance F 50° isolée des têtes de reines d'abeilles, et qui avait l'activité caractéristique de la substance royale d'inhiber la construction des cellules royales, nous avons réexaminé cette substance. Mlle Pain [2] a alors trouvé (en avril 1960) que l'acide F 52-55° que nous avions isolé, inhibait la construction des cellules royales dans une population de 200 abeilles ouvrières, dès la concentration de 0,1 mg. Afin de vérifier l'identité des deux substances isolées, le Docteur C. G. Butler a bien voulu éprouver notre produit et a observé une activité à la concentration de 0,04 mg pour 150 abeilles.

Dans la présente Note, nous proposons pour cette substance, la structure (I) d'un acide céto-9-décène-2-oïque :

$$CH_3-\underset{\underset{O}{\parallel}}{C}-(CH_2)_5-CH{=}CH-COOH. \qquad \text{(I)}$$

Le spectre infrarouge mesuré dans KBr anhydre, montre l'absence de groupe OH, la présence d'un carboxyle (5,92 μ) ainsi que la présence probable d'un groupement méthyl-cétone (trois bandes à 5,85, 8,10 et 8,65 μ).

L'existence du groupement méthyl-cétone est démontrée par un test d'oxydation par l'hypoiodite de sodium, effectué sur 0,3 mg de substance, dont le résultat est positif.

La réduction selon Huang-Minlon [6] par l'hydrazine en milieu alcalin, également effectuée sur 0,3 mg de produit, conduit à un acide dont l'ester méthylique préparé par action du diazométhane, possède à 150° le même volume de rétention que le décanoate de méthyle authentique (chromatographie en phase gazeuse dans un appareil Pye Argon Chromatographe; pour les détails sur les conditions expérimentales, *voir* [2]). L'obtention d'un acide décanoïque par cette réduction, prouve que la chaîne carbonée est en C_{10} et n'est pas ramifiée.

Par action de la 2.4-dinitrophénylhydrazine en solution hydroalcoolique, sur la substance F 52-55°, une 2.4-dinitrophénylhydrazone cristallisée jaune clair, F 115-120° précipite immédiatement. Par chromatographie circulaire sur papier dans le système décaline/diméthylformamide [7], on observe une seule tache de R_f 0,05. En ultraviolet, ce dérivé possède un maximum à 362 mμ. L'ester méthylique de la substance F 52-55° donne aussi une 2.4-dinitrophénylhydrazone jaune clair, amorphe, R_f par chromatographie circulaire sur papier dans les mêmes conditions : 0,46; λ_{max} 362 mμ. L'obtention d'un dérivé jaune clair, ainsi que le maximum à 362 mμ, indiquent la présence d'un groupement cétonique non conjugué [8].

L'oxydation chromique sur 0,4 mg de substance, selon la technique de Schmid et Karrer [9], fournit des acides volatils, qu'on entraîne à la vapeur d'eau, au fur et à mesure de leur formation. La chromatographie sur papier de leurs sels d'éthylamine [10] indique que la substance inhibitrice de la construction des cellules royales est bien une méthyl-cétone; en effet, le seul acide volatil obtenu est l'acide acétique. Nous avons vérifié par des essais portant sur des quantités identiques d'une méthyl-cétone et d'une éthyl-cétone authentiques, que l'acide acétique et l'acide propionique étaient respectivement obtenus.

La réduction de l'acide (I) par $LiAlH_4$, conduit à une substance neutre, dont le volume de rétention en chromatographie gaz-liquide à 200° est identique à celui du diol synthétique (II) :

$$\text{(II)} \qquad CH_3-\underset{\displaystyle OH}{CH}-(CH_2)_7-CH_2OH.$$

La structure (I) proposée a été établie par des essais ayant utilisé au total moins de 5 mg de substance; elle devra être vérifiée par synthèse.

Cette structure possède une analogie remarquable avec celle de l'acide hydroxy-10-décène-2-oïque (III) précédemment isolé de la gelée royale [11] :

$$\text{(III)} \qquad HOH_2C-(CH_2)_6-CH{=}CH-COOH$$

(1) J. Pain, *Insectes sociaux*, 3, n° 1, 1956, p. 190.

(2) M. Barbier et J. Pain, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3740.

(3) C. G. Butler, *Trans. Roy. Ent. Soc. Lond.*, 105, n° 11, 1954; A, 31, n° 12, 1956; *Exper.*, 13, 1957, p. 256; *Insectes sociaux*, 4, 1957, p. 211.

(4) J. Pain, *Insectes sociaux*, 2, n° 1, 1955, p. 35.

(5) C. G. Butler, R. K. Callow et N. C. Johnston, *Nature*, 184, 1959, p. 1871.

(6) Huang-Millon, *J. Amer. Chem. Soc.*, 68, 1946, p. 2487.

(7) L. Horner et W. Kirmse, *Liebigs Ann. Chem.*, 599, 1955, p. 48.

(8) A. E. Gillam, E. S. Stern et E. R. H. Jones, *An introduction to electronic absorption spectroscopy in organic chemistry*, E. Arnold Publishers, Londres, 1955, p. 54.

(9) H. Bickel, H. Schmid et P. Karrer, *Helv.*, 38, 1955, p. 649; R. Entschel, C. H. Eugster et P. Karrer, *Helv.*, 39, 1956, p. 1263; J. Polonsky, *Bull. Soc. Chem. Fr.*, 1957, p. 929.

(10) B. Lindqvist et T. Storgards, *Acta Chem. Scand.*, 7, 1953, p. 87.

(11) A. Butenandt et H. Rembold, *Z. Physiol. Chem.*, 308, 1957, p. 284.

(12) Cet isolement, effectué sous la direction du Professeur T. Reichstein, Institut de Chimie organique de l'Université de Bâle, laboratoire du Docteur O. Schindler, sera décrit dans une publication ultérieure.

(*Institut de Biologie physicochimique, Paris.*)

CHIMIE BIOLOGIQUE. — *Actions inhibitrices successives des antipodes optiques de la méthionine sur une souche* Salmonella enteritidis. Note de M. **Jacques Nicolle** et Mlle **Josette Walle**, présentée par M. Jacques Tréfouël.

Il nous a été impossible d'habituer la souche utilisée, *Salmonella enteritidis*, aux antipodes optiques de la méthionine et par des passages alternés sur ces isomères nous avons pu inhiber entièrement la croissance.

Poursuivant nos recherches, sur les actions de certains aminoacides de la serie D, nous avons utilisé une souche *Salmonella enteritidis* en présence des antipodes optiques de la méthionine introduits séparément en diverses proportions dans notre milieu synthétique habituel [1] contenant du sulfate d'ammoniaque et du D (+)-glucose, comme sources d'azote et de carbone.

Pour des concentrations de 0,50 ‰ nous n'avons observé aucune action ; pour 0,75 et 1,00 ‰ la D (+)-méthionine produit une certaine inhibition et à partir de 1,50 ‰ les deux antipodes ralentissent la croissance (l'action de la D (+)-méthionine étant toujours plus importante que celle de la L (—)-méthionine).

Munis de ces renseignements, nous avons alors effectué une série d'expériences (concentration 1,50 ‰ pour chacun des antipodes pris séparément). Après six passages opérés dans des milieux contenant les uns de la L (—)-méthionine et les autres de la D (+)-méthionine, nous avons repiqué les cultures provenant du milieu « L » dans le milieu « D » et inversement celles provenant de « D » dans « L » (Courbes L_7 et D_7, *fig.* 2) un plus grand ralentissement de croissance s'est alors manifesté; et ensuite il en a été de même pour les inversions pratiquées après le 10e repiquage (courbes L_{10} et D_{10}, *fig.* 2) jusqu'au 22e passage qui a conduit à un arrêt total de la croissance. Au cours des expériences alternées, la D (+)-méthionine a toujours montré un pouvoir inhibiteur plus grand que son antipode optique.

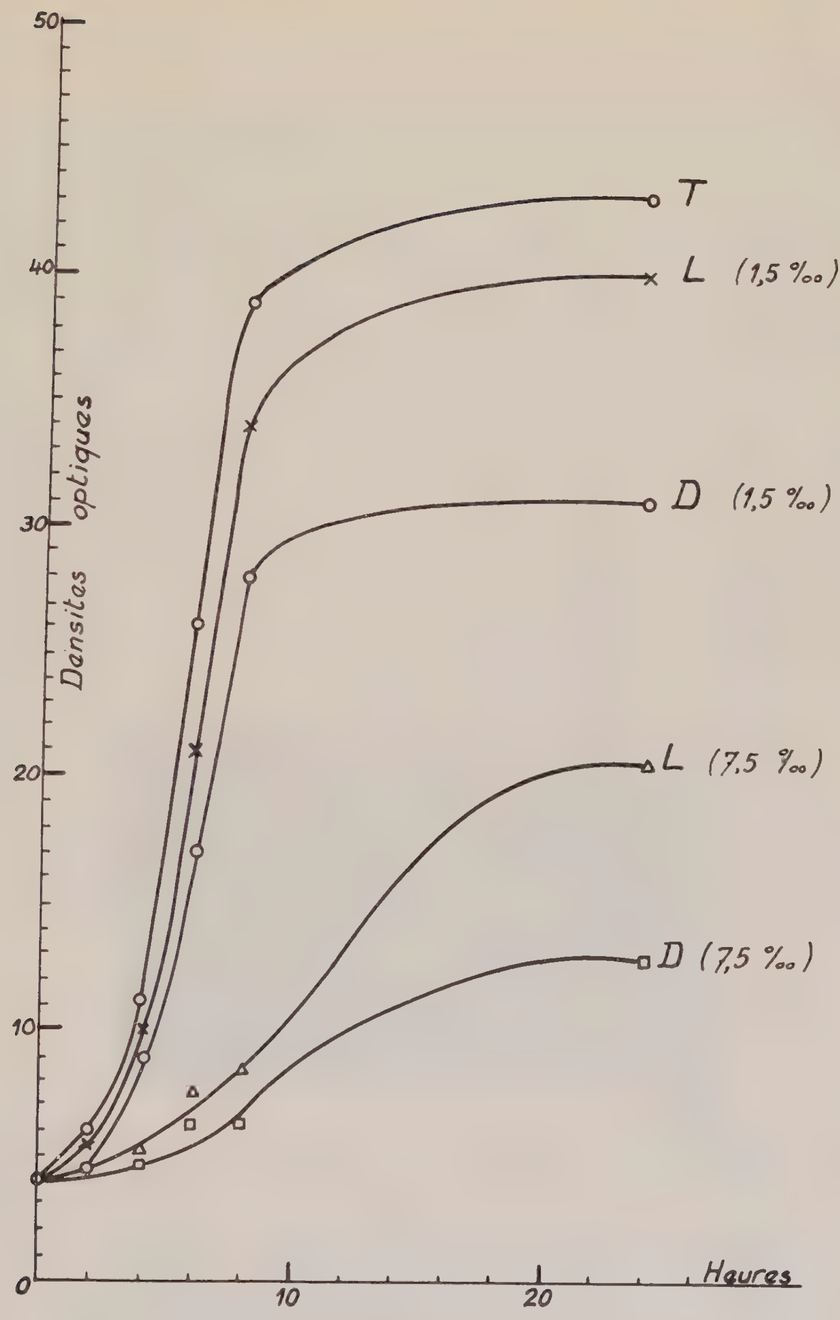


Fig. 1. — Influence des antipodes optiques de la méthionine sur la croissance d'une souche *Salmonella enteritidis* pour diverses concentrations.

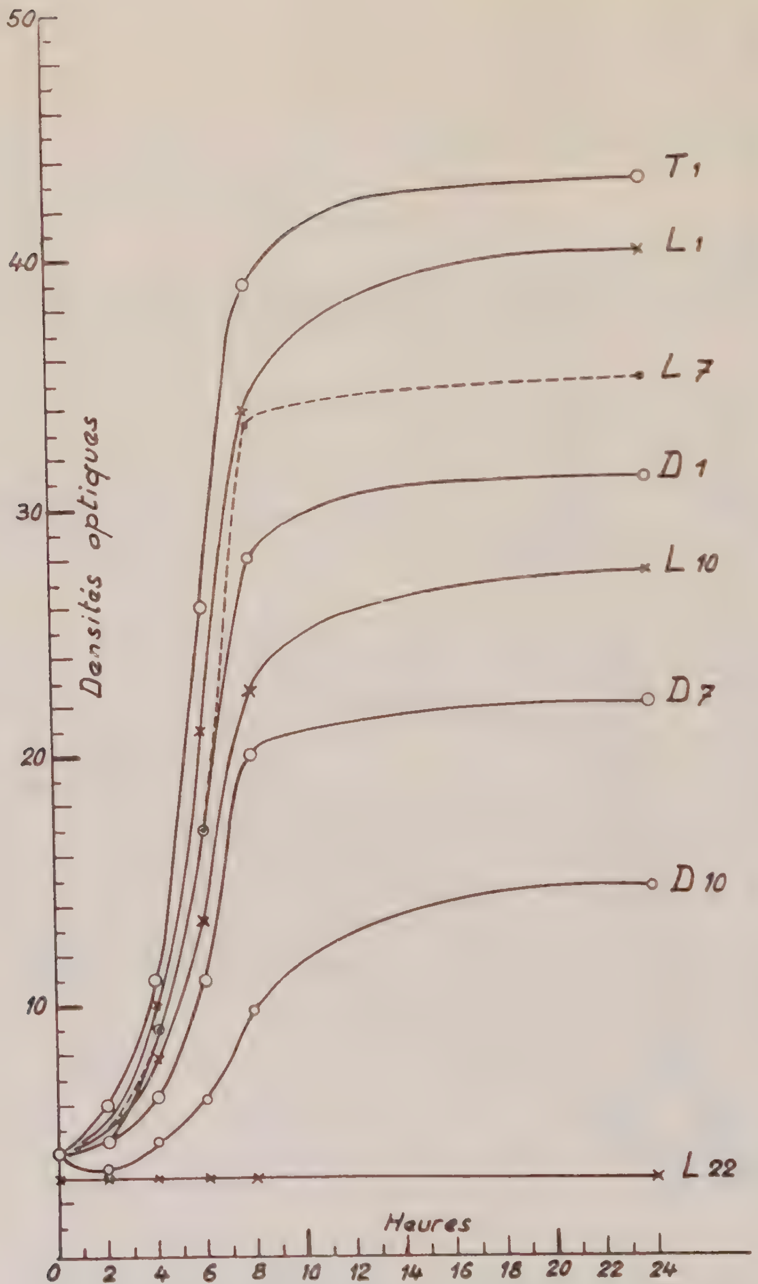


Fig. 2. — Influence des antipodes optiques de la méthionine, sur la croissance d'une souche *Salmonella enteritidis*, à la concentration de 1,50⁰/₀₀.

T_1, témoin de la première expérience; L_1, milieu contenant la L (—)-méthionine et D_1, milieu contenant la D(+)-méthionine (première expérience); L_7 et D_7, L_{10} et D_{10}, L_{22}, les 7e, 10e et 22e passages dans les mêmes conditions.

[1] A. Lwoff, F. Nitti et Mme Tréfouël, *Ann. Inst. Pasteur*, Paris, 67, 1941, p. 177.

PHARMACOLOGIE. — *Mise en évidence de l'action vasodilatatrice directe de l'acide yohimbique et de la Py-tétrahydro-quinoline.* Note (*) de M. **Raymond-Hamet**, présentée par M. René Souèges.

Nous avons montré précédemment (1) que, bien que 13 fois moins toxique que la yohimbine, l'acide yohimbique possède, d'une part une action hypotensive comparable à celle de cette dernière, d'autre part une activité sympathicolytique majeure deux fois plus forte que celle de la dite dernière.

Les essais que nous avons pratiqués avec l'acide yohimbique en utilisant la méthode de Schilf (2) adaptée par nous aux recherches pharmacologiques (3) nous a permis de constater que, comme la yohimbine, l'acide yohimbique possède une action vaso-dilatatrice directe. C'est ainsi que, dans l'expérience dont le tracé est reproduit ici, l'injection de 4 mg d'acide yohimbique dans une ramification de l'artère fémorale a augmenté d'un peu plus de deux fois l'écoulement sanguin de la veine fémorale correspondante.

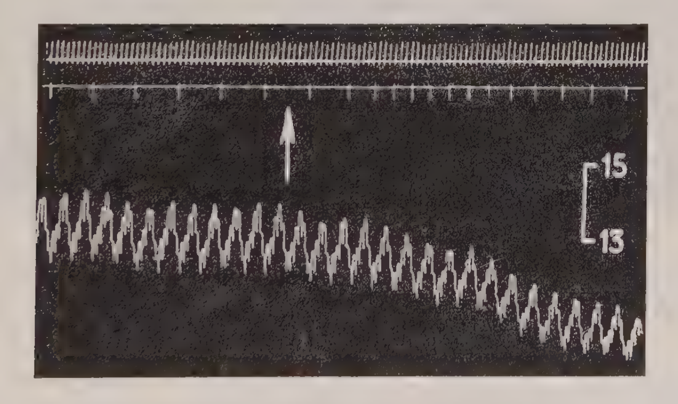


Fig. 1. — Chien de 15 kg, anesthésié par le chloralose (12 cg/kg), bivagotomisé au cou, soumis à la respiration artificielle et ayant reçu, pour rendre son sang incoagulable, une injection intraveineuse de 150 mg de polyanétholsulfonate de sodium (Liquoïde Roche). 1re ligne : temps en secondes; 2e ligne : modifications de l'écoulement sanguin de la veine fémorale de la patte postérieure gauche; 3e ligne : variations de la pression carotidienne enregistrées par le manomètre à mercure. Au point marqué par la flèche on a injecté dans une ramification de l'artère fémorale de la patte postérieure gauche 4 mg d'acide yohimbique dissous après salification par l'acide chlorhydrique dans 2 ml de soluté physiologique de chlorure de sodium. Tracé reproduit en grandeur naturelle.

Il nous a paru intéressant de comparer l'action vasculaire directe d'une substance toujours hypotensive comme l'acide yohimbique avec celle de la Py-tétrahydro-quinoline qui, à des doses d'ailleurs variables suivant les

animaux, produit tantôt de l'hypotension, tantôt de l'hypertension. Nous avons pu nous assurer qu'aussi bien aux doses faibles (2 mg) qu'aux doses fortes (20 mg), la Py-tétrahydro-quinoline injectée dans une ramification

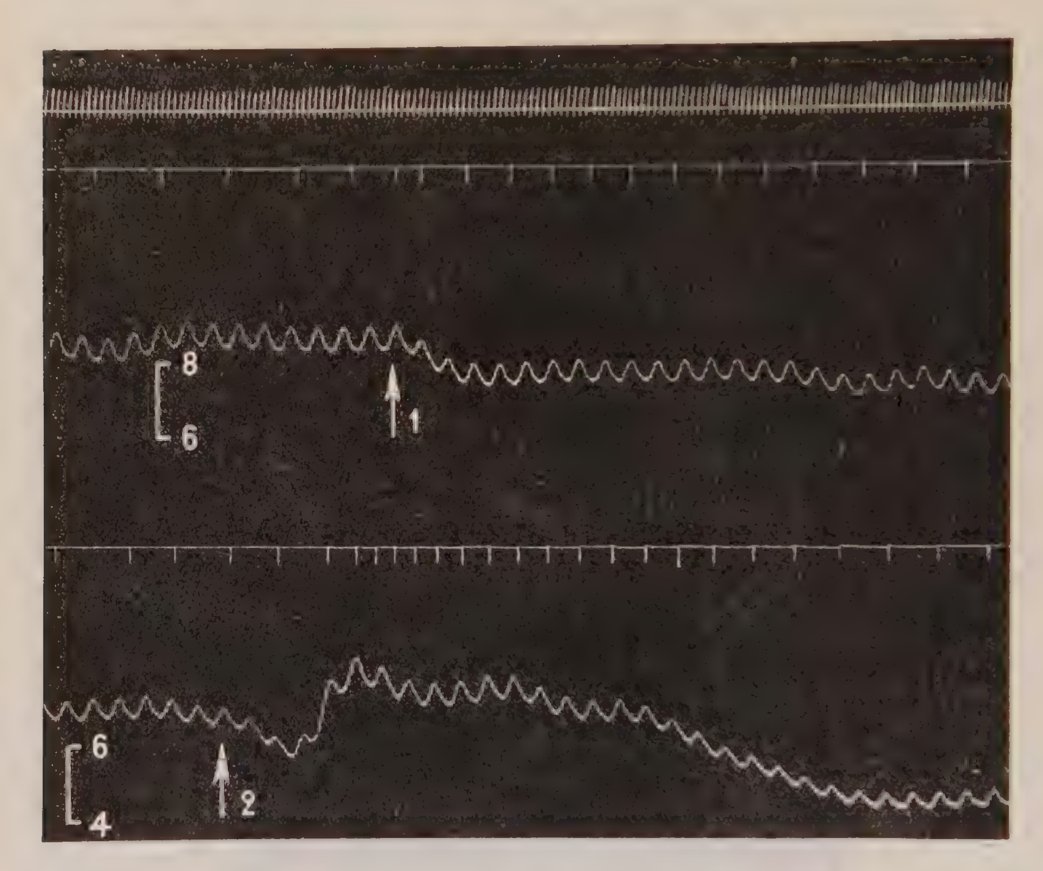


Fig. 2. — Chienne de 18 kg, anesthésiée par la chloralose (12 cg/kg), bivagotomisée au cou, soumise à la respiration artificielle et ayant reçu, pour rendre son sang incoagulable, une injection intraveineuse de 180 mg de Liquoïde Roche. 1re ligne : temps en secondes; 2e et 4e lignes : modifications de l'écoulement sanguin de la veine fémorale de la patte postérieure gauche; 3e et 5e lignes : variations de la pression carotidienne enregistrées par le manomètre à mercure. Aux points marqués par les flèches on a injecté dans une ramification de l'artère fémorale de la patte postérieure gauche : en 1, 2 mg, en 2, 20 mg de chlorhydrate de Py-tétrahydro-quinoline dissous dans 2 ml de soluté physiologique de chlorure de sodium. — Tracés reproduits en grandeur naturelle.

de l'artère fémorale entraîne un accroissement du débit sanguin de la veine fémorale correspondante qui est presque doublé ou un peu plus que doublé. Il convient de noter que, dans un de nos essais (*fig.* 2, 2), l'injection d'une dose forte de Py-tétrahydro-quinoline dans une ramification de l'artère fémorale a été suivie d'une légère augmentation de la pression carotidienne, qu'on peut attribuer à l'action sur l'organisme entier d'une certaine quantité de Py-tétrahydro-quinoline ayant pénétré dans la circulation

générale par un ou plusieurs vaisseaux collatéraux. De toute façon, il est démontré par nos essais que la Py-tétrahydro-quinoline, quoique pourvue d'une action hypertensive indubitable quand elle est injectée à dose

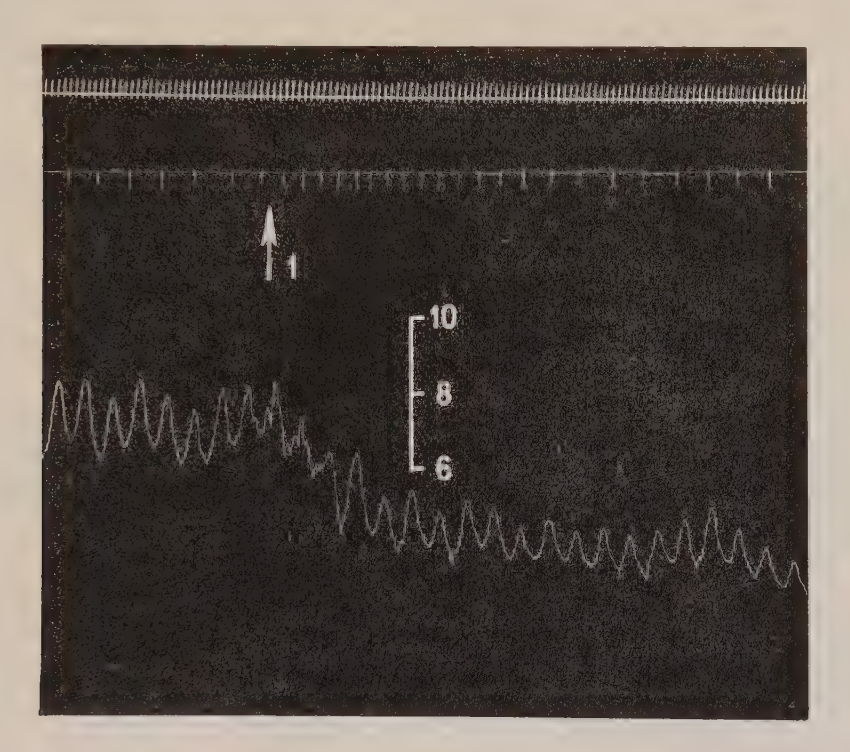


Fig. 3. — Chien de 14 kg, anesthésié par le chloralose (12 cg/kg), bivagotomisé au cou, soumis à la respiration artificielle et ayant reçu, pour rendre son sang incoagulable, une injection intraveineuse de 140 mg de Liquoïde Roche. 1re ligne : temps en secondes; 2e ligne : modifications de l'écoulement sanguin de la veine fémorale de la patte postérieure gauche; 3e ligne : variations de la pression carotidienne enregistrées par le manomètre à mercure. Au point marqué par la flèche on a injecté dans une ramification de l'artère fémorale de la patte postérieure gauche 20 mg de chlorhydrate de Py-tétrahydroquinoline dissous dans 2 ml de soluté physiologique de chlorure de sodium. Tracé reproduit en grandeur naturelle.

appropriée dans la circulation générale, ne montre qu'une action vasodilatatrice quand elle agit directement et exclusivement sur les vaisseaux de la patte.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) Raymond-Hamet, *Comptes rendus*, 233, 1951, p. 1069.
(2) Schilf, *Arch. f. exp. Pathol. u. Pharmakol.*, 126, 1927, p. 38.
(3) Raymond-Hamet, *Comptes rendus*, 193, 1931, p. 880.

SÉROLOGIE. — *Persistance des lévanes et variation du taux de complément dans le sang de Lapin après injection intraveineuse de diverses fractions de lévane de* Bacillus subtilis. Note de M[lle] **Yvonne Joyeux** et M. **Roger Audran**, présentée par M. René Dujarric de la Rivière.

Les fractions de lévane de poids moléculaire (P. M.) 340 000 et 51 000 persistent plus longtemps dans le sang que la fraction de P. M. : 15 000, qui disparaît très rapidement. Seules les fractions ayant les P. M. les plus élevés : 60.10^6 et 340 000 déterminent un abaissement du taux de complément.

Des fractions de lévane de *Bacillus subtilis* de P. M. élevé, inactivent, *in vitro*, le complément des sérums de Lapin, de Cheval, de Cynocéphale et d'Homme ([1]).

Dans un précédent travail, nous avons étudié quelques-uns des effets physiologiques de trois fractions de lévane de P. M. moyen : 60 000 environ, sur la Souris, le Rat et le Lapin ([2]). Dans la présente expérimentation, les fractions de lévane sont de P. M. très différents :

$LB_{14} = 60.10^6$, $G_2 = 340\,000$, $G_4 = 51\,000$, $G_6 = 15\,000$.

1. Méthodes. — 1° *Expérimentation physiologique.* — Chacune des fractions de lévane est injectée à quatre lapins par voie intraveineuse (veine marginale de l'oreille) à la dose de 80 mg/kg (solution à 4 % dans l'eau physiologique).

Une série de quatre lapins témoins reçoit un volume équivalent de sérum physiologique.

Les prélèvements de sang sont faits avant l'injection, puis 4 h, 24 h, 4 jours et 19 jours après.

Une partie du sang est citratée pour le dosage des sucres; une autre partie est recueillie sans anticoagulant pour le dosage du complément.

2° *Dosages.* — *Sucres* : Le sang citraté est déprotéinisé par la méthode de Somogyi au sulfate de zinc et à la baryte ([3]).

Les sucres réducteurs sont dosés par la méthode colorimétrique de Somogyi-Nelson ([4]).

Le fructose total est titré par la méthode de Roe, modifiée par Cole et coll. ([5]).

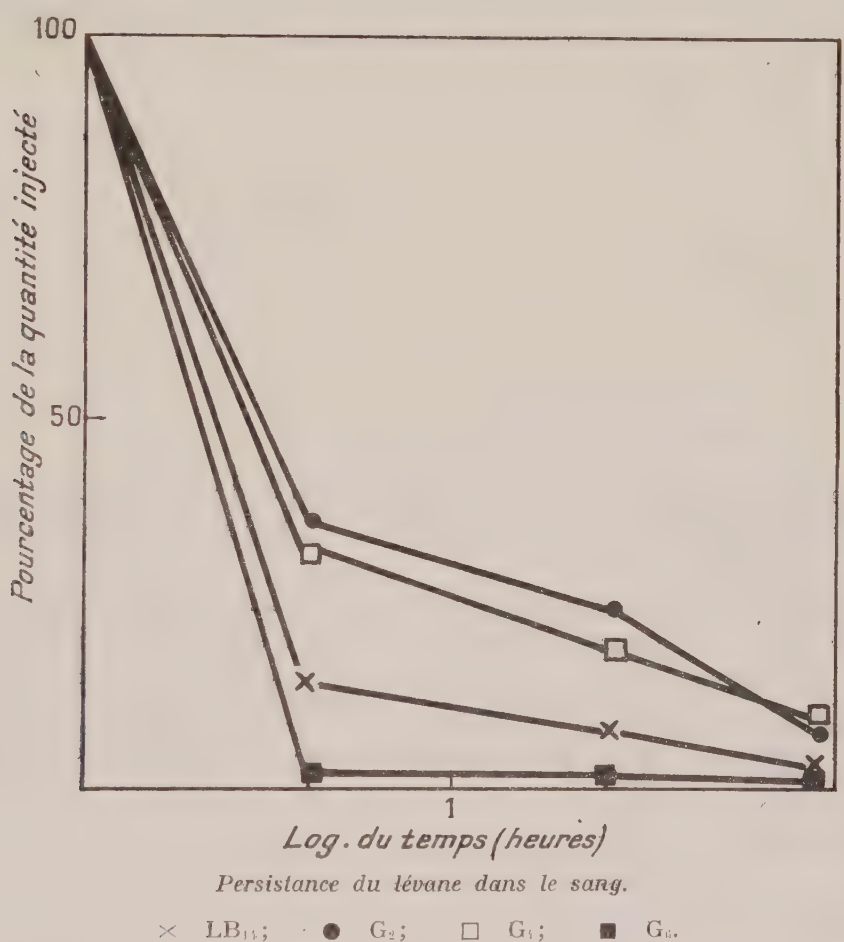
Complément : Il est dosé dans le sérum par la méthode d'hémolyse à 50 % ([6]).

2. Résultats. — 1° *Persistance des lévanes dans le sang.* — Des variations importantes du taux des sucres réducteurs (glucose) sont observées dans la série des animaux témoins, au cours des prélèvements; les quantités augmentent avec les saignées. On ne peut donc établir un taux moyen de glucose calculé à partir de ce lot témoin.

Chez les lapins ayant reçu du lévane, le taux de sucres réducteurs varie

dans le même sens que celui des lapins témoins; il est du même ordre de grandeur. Le fructose libre, qui est la différence entre le taux de sucres réducteurs et le taux moyen de glucose, ne peut donc être évalué.

Le fructose total dosé représente la somme du fructose libre et du lévane (fructose combiné).



Persistance du lévane dans le sang.

× LB_{14}; ● G_2; □ G_4; ■ G_6.

Nous savons que les quantités de fructose libre sont très faibles, inférieures à 10 % du fructose total [2]. Les courbes de la figure rendent compte de la persistance du lévane dans le sang pour les quatre fractions : chaque point représente la moyenne obtenue avec les quatre lapins. Les quantités sont exprimées en pourcentage de lévane persistant, 4 h, 24 h et 4 jours après l'injection; le logarithme du temps est utilisé par commodité graphique.

Au 19e jour on trouve encore des traces de lévane pour G_2, G_4 et LB_{14}.

La quantité de LB_{14} persistant 4 h après l'injection est faible; ce résultat ne peut guère s'expliquer par une élimination urinaire rapide de cette fraction, dont le P. M. est élevé et proche de celui du lévane natif.

On peut penser qu'une grande partie de lévane a été retenue par le système réticulo-endothélial ou adsorbée sur les globules rouges.

Nous avons, en effet, constaté au moyen de lévane natif marqué au ^{14}C, que les globules rouges de lapin fixent, *in vitro*, ce haut polymère.

2° *Taux du complément sérique.* — Les quantités de complément, rapportées dans le tableau, représentent la moyenne des résultats obtenus sur les quatre lapins, et sont exprimées en pourcentage du taux moyen de complément existant dans chaque série avant l'injection.

Action des quatre fractions de lévane sur le taux du complément de lapin.

	Pourcentage du complément persistant après l'injection.		
Lévanes.	4 h.	24 h.	4 jours.
LB_{14}	45	77	54
G_2	60	105	68
G_4	87	103	138
G_6	112	122	96
Témoin	90	132	158

L'accroissement du taux du complément à la suite des saignées répétées est connu depuis les travaux de Famulari (7). Nous le constatons dans la série des animaux témoins.

Chez les Lapins traités par les lévanes, seules les fractions LB_{14} et G_2, de P. M. élevé, abaissent le taux du complément. Cet abaissement est notable 4 h après l'injection; il est du même ordre de grandeur 4 jours après. Ces valeurs trouvées pour le taux du complément sont probablement majorées en raison des soustractions sanguines répétées.

(*) Séance du 20 juin 1960.

(1) R. Audran et Y. Joyeux, *Comptes rendus*, 250, 1960, p. 3909.
(2) Y. Joyeux, A. Eyquem et R. Dedonder, *Ann. Inst. Pasteur*, 95, 1958, p. 168.
(3) M. Somogyi, *J. Biol. Chem.*, 160, 1945, p. 69.
(4) M. Somogyi, *J. Biol. Chem.*, 160, 1945, p. 61.
(5) Cole, Hanes, Jackson, Loughman, *in* D. J. Bell, *Modern methods of Plant Analysis*, 2, 1955, p. 21.
(6) R. Audran, *Transfusion*, 2, 1959, p. 1.
(7) S. Famulari, *Gior. Batt. Imm.*, 7, 1931, p. 699.

(*Laboratoire des Polyosides, Institut Pasteur, Paris.*)

CANCÉROLOGIE. — *L'amide nicotinique et les substances cancérigènes.* Note de Mlle **Simone Hatem**, présentée par M. Christian Champy.

L'amide nicotinique présente pour les substances cancérigènes une affinité qui paraît utilisable pour combattre par compétition la complexion de l'histamine et l'altération de la liaison imidazole-pyrrole par ces substances.

Le rôle du noyau imidazole dans le cancer chimique étant apparu : 1° dans la complexion de l'histamine, substrat neuro-hormonal qui affecte la croissance; 2° dans l'altération de la liaison imidazole-pyrrole, liaison qui retentit sur la synthèse de l'hémoglobine, il peut être utile de rechercher un corps non toxique susceptible d'inhiber par compétition ces deux réactions chimiques. L'amide nicotinique remplirait-il ces conditions ?

1° L'amide complexe les substances cancérigènes en phase aqueuse et la réaction présente les mêmes caractères que celle de l'histamine.

L'étude spectrale est conduite dans le visible en raison de l'absorption très élevée des solutions aqueuses de l'amide dans l'ultraviolet, et l'examen est limité aux quatre azoïques et aux deux polybenzènes suivants visiblement colorés : *p*-aminoazobenzène (*p*-AA, ±); diméthyl-3.2, amino-4-azobenzène (DM-3.2′, A-4-A, ++++) substances hydrosolubles; 3′-méthyl-4-diméthylaminoazobenzène (3′-M-4-DMAA, +++); *p*-diméthylamino-azobenzène (*p*-DMAA, +++); benzopyrène (B, ++++); pérylène (P, —) substances non hydrosolubles. L'étude est précédée par l'examen spectral des substances dans l'éthanol et dans le pyrrole. Titrés à 1 ‰ par pesée, les azoïques présentent, dans la région d'étude, une bande dont la densité maximale est comprise entre 0,8 et 1 sous 0,01 cm d'épaisseur. Les polybenzènes ont de nombreuses bandes, aussi l'examen est-il centré sur deux d'entre elles dont les intensités sont du même ordre. Les densités seront donc comparables et significatives.

L'examen spectral des systèmes eau-amide-substance révèle que toutes les substances actives sont solubilisées dans l'eau indépendamment du pH des solutions. L'étude faite à pH 8 et 6 avec et sans addition de soude donne pour la densité des valeurs équivalentes. Les substances non hydrosolubles et cancérigènes ont un spectre parfaitement résolu; la substance non hydrosoluble et non cancérigène est difficilement décelable. Les substances hydrosolubles étant à la fois inégalement actives et inégalement solubles, il est intéressant d'exprimer leur densité optique en prenant pour unité la densité optique de leur solution aqueuse. La densité relative ainsi calculée s'élève avec la concentration de l'amide et avec l'activité des substances. Il en est de même pour l'effet bathochrome (*fig.* 1, 2 et 3).

2° L'amide solubilise le pyrrole dans l'eau suivant une courbe de démixtion eau-pyrrole déterminée par le taux d'amide; la courbe se compose de deux branches interrompues; la branche de gauche est repro-

duite (fig. 4). Cet aspect de la liaison amide-pyrrole joue vraisemblablement lorsque l'amide intervient comme facteur de l'hème synthétase. Or, les substances étudiées altèrent la courbe de démixtion eau-pyrrole-amide comme elles altèrent la courbe de démixtion eau-pyrrole-imidazole.

MILIEUX	pAA	DM3-2'A4A	3'M4DMAA	pDMAA	B	P
ETHANOL	3800 à 3900	3800 à 3900	4100	4100	3850	4360
EAU	3700 à 3800	3660 à 3760	—	—	—	—
AMIDE 25 %	3800 à 3900	3800 à 3900	4500 à 4600	4500 à 4600	3920	—
AMIDE 50 %	3800 à 3900	3800 à 3900	4500 à 4600	4500 à 4600	3920	4400
PYRROLE	3800 à 3900	3800 à 3900	4200 à 4360	4200 à 4360	3920	4400
STH_M	3800 à 3900	2 φ	4400 à 4600	4400 à 4600	3920	4400
STH_N		3800 à 3900				I

Fig. 1. — Courbe de démixtion du système eau-pyrrole. En abscisse : poids de pyrrole dans 100 g de mélange eau-pyrrole; en ordonnée : poids d'amide dans 100 g d'eau; en O : 0 % de pyrrole; $t = 30°$.

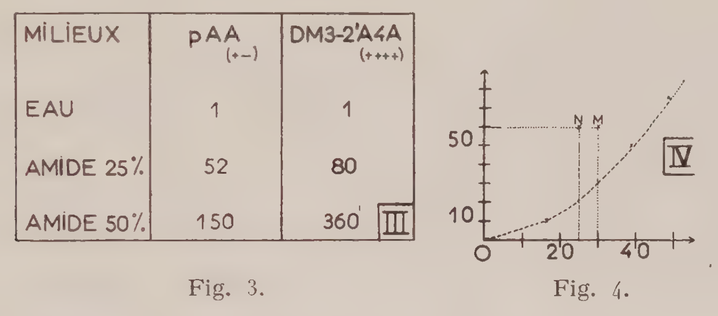
MILIEUX	pAA (+−)	DM3-2'A4A (++++)	3'M4DMAA (+++)	pDMAA +++	B ++++	P (−)
EAU	$0{,}20.10^{-2}$	$0{,}026.10^{-2}$	non mesurable	non mesurable	non mesurable	non mesurable
AMIDE 25 %	$10{,}5.10^{-2}$	2.10^{-2}	$0{,}12.10^{-2}$	$0{,}4.10^{-2}$	$0{,}04\ 10^{-2}$	non mesurable
AMIDE 50 %	30.10^{-2}	9.10^{-2}	$0{,}6.10^{-2}$	$1{,}6.10^{-2}$	$0{,}2\ 10^{-2}$	$0{,}03\ 10^{-2}$
PYRROLE	14	14	12,5	7	1,75	0,1
STH_M		2φ	$8{,}4.10^{-2}$	$9{,}8.10^{-2}$	$1{,}25.10^{-2}$	$0{,}22.10^{-2}$
STH_N	30.10^{-2}	30.10^{-2}				II

Fig. 2. — Longueurs d'ondes (Å) des maximums d'absorption. Substances dans les différents milieux.

En effet, prenons le système ternaire homogène eau-amide-pyrrole en M $(STH)_M$ (*fig.* 4). Saturons-le de substance et, la solution une fois filtrée, ajoutons le pyrrole jusqu'à la naissance des deux phases. Le trouble se produit sensiblement au même point pour le témoin, pour P et pour PAA; l'écart suivant est relevé entre le témoin et les autres substances : *p*-DMAA et 3'-M-4-DMAA ≠ 2 %; B ≠ 5,5 %; DM-3.2' A-4-A > 5,9 %. L'écart s'élève donc avec l'activité des substances.

Les substances hydrosolubles ne peuvent être examinées au point

M $(STH)_M$ en raison de la non-miscibilité eau-pyrrole déjà apparue pour l'une d'elles et le point N est trop éloigné de la courbe de démixtion pour qu'une interprétation de la densité soit permise. Le spectre des substances non hydrosolubles lu au point M $(STH)_M$ est éloquent dans le cas du 3'-M-4-DMAA et de *p*-DMAA. On remarque que la densité de ces substances dans le pyrrole est 12,6 pour la première et 7 pour la seconde quand cette densité dans une solution aqueuse d'amide à 50 % est $0,6.10^{-2}$ pour la première et $1,6.10^{-2}$ pour la seconde. Or, la densité des substances dans STH_M est ordonnée par l'amide. L'examen des couleurs n'est pas moins suggestif car ces substances sont différemment colorées dans le pyrrole et dans la solution aqueuse d'amide. Or, on observe que le système eau-amide-substance impose sa couleur au système eau-amide-pyrrole-substance. C'est donc l'amide qui oriente la réaction et l'on rejoint ici encore la réactivité de l'imidazole.



MILIEUX	pAA (+−)	DM3-2'A4A (++++)
EAU	1	1
AMIDE 25 %	52	80
AMIDE 50 %	150	360

Fig. 3. Fig. 4.

Fig. 3. — Valeurs approchées de la densité optique maximale.
Substances à saturation dans les différents milieux.
Épaisseur traversée : $e = 0,001$ cm; $t \neq 20°$.

Fig. 4. — Valeurs approchées de la densité optique maximale relative. Solutions aqueuses d'amide saturées de substances. Age des mélanges : 8 jours. Épaisseur traversée : $e = 0,001$ cm; une solution d'amide à 1 % comprend 1 g d'amide dans 100 g d'eau. $t \neq 20°$.

Il est certain, cependant, que la carence d'amide n'apparaît pas comme une cause de cancérisation, l'amide n'est autre que l'un des éléments du processus infiniment complexe de l'hème synthétase. On peut considérer, toutefois, que la sensibilité de l'azote pyridinique aux substances cancérigènes oriente une réaction d'un caractère quasi général qui, par l'histamine, atteint un régulateur de croissance, par le reste imidazolique d'histidine, touche la synthèse de l'hémoglobine, synthèse que le blocage de l'amide viendra encore perturber. Cette réaction saisit aussi, sans aucun doute, d'autres matériaux de l'édifice cellulaire qui, sans affecter la croissance ou la respiration, intensifieront le désordre provoqué. Il semble intéressant d'exploiter la réaction avec l'amide. L'étude biologique est en cours.

La séance est levée à 16 h 15 m.

L. B.

ERRATUMS.

(*Comptes rendus* du 16 mai 1960.)

Note présentée le même jour, de MM. *Gilbert Landaud* et *Claude Mabboux*, Utilisation de la fonction aléatoire $X(t) = \pm 1$ à l'étude des lois de désintégration de radioéléments à filiations :

Page 3312, 3e ligne, *au lieu de* $F(t) = (1/\lambda)\, e^{-h/\lambda}$, *lire* $F(t) = e^{-t/\lambda}$.

» » 5e ligne, *au lieu de* $-\frac{1}{2}\rho_0 \operatorname{Log} C(h)$, *lire* $-\frac{1}{2\rho_0} \operatorname{Log} C(h)$.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE

DES PUBLICATIONS PÉRIODIQUES REÇUES PENDANT L'ANNÉE 1959.

L'Académie des sciences exprime ses remerciements aux Établissements qui lui ont envoyé leurs Publications.

La cote qui suit le titre du plus grand nombre des périodiques est :

— pour la France et l'Union Française, celle du *Répertoire de la presse et des publications périodiques françaises*, par H. F. Raux [1], suivie de celle, entre parenthèses, de l'*Inventaire des périodiques scientifiques des bibliothèques de Paris* [2], qui donne l'indication des bibliothèques où se trouve le périodique;

— pour l'étranger, celle de l'*Inventaire permanent des périodiques étrangers en cours* (*I.P.P.E.C.*) : *Inventaire des périodiques étrangers reçus en France par les Bibliothèques et les Organismes de documentation en* 1957-1958 [3].

Le titre des périodiques nouvellement créés est inscrit en caractères gras.

Publications des Institutions Internationales.

— Agence internationale de l'énergie atomique (Wien) : *Atomic energy;* **Bulletin : Research Information organization in atomic energy**.

— Assemblée parlementaire européenne : *Bibliographie méthodique trimestrielle*, V 311.

— Bureau international de l'heure : *Bulletin horaire* (Paris), 14 130, (U 26).

— Centre international de l'enfance : *Courrier* (Paris), 11 807.

— Centre international de synthèse : *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications* (Paris), 47 040.

— Collège international pour l'étude scientifique des techniques de production mécanique : *Annales* (Paris).

— Commission internationale de l'Enseignement mathématique : *L'enseignement mathématique* (Genève), E 526.

— Commission internationale de lutte biologique contre les ennemis des cultures (C. I. L. B.) : *Entomophaga* (Paris).

— Commission séricicole internationale : *Revue du ver à soie* (Alès), 19 895.

---

[1] Paris, Édition de la documentation française, 1958.

[2] Paris, Masson, 1924-1925; 4 fasc. et 2 suppléments (1929-1939).

[3] Direction des Bibliothèques de France, Paris, Bibliothèque Nationale, 1959.

- Communauté européenne du charbon et de l'acier (Luxembourg) : *Bulletin statistique; Informations statistiques; Journal officiel*, J 912; *Rapport général sur l'activité;* [*Publications*].
- Congrès Géologique International. Commission de Stratigraphie : *Lexique stratigraphique international.*
- Congrès international de Botanique (Montréal) : *Circulaires.*
- Conseil international des Unions scientifiques : *Financial statement;* **ICSU Review**; *The year book* (*La Haye*), Y 73.
- Id. Committee on Space Research (COSPAR) : *Report of second meeting* (The Hague).
- Id. Special Committee on Antarctic Research (SCAR) : *Bulletin.*
- Mond Nickel Company (Londres) : *The Nickel Bulletin*, N 587; *Revue Inco-Mond.*
- Organisation européenne pour la recherche nucléaire (C. E. R. N.) : *Annexe; Courrier; Rapport annuel* (Genève), O 296.
- Orientation à la fonction internationale (Paris) : *Orientations internationales*, 36 365.
- Union astronomique internationale : *Information bulletin* (Greenwich); *Quarterly Bulletin on Solar activity* (Zurich), Q 40.
- Union géodésique et géophysique internationale : *Chronique de l'U. G. G. I.*, U 121.
- Id. Association de volcanologie : *Bulletin volcanologique* (Napoli), B 2 502.
- Union internationale de chimie pure et appliquée : *Tables de constantes et données numériques* (Paris).
- Union internationale de physique pure et appliquée : *Circulaire d'information* (Paris).
- Union internationale d'histoire et de philosophie des sciences. Division d'histoire des sciences : *Archives internationales d'histoire des sciences* (Paris), 46 805.
- Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources : *Bulletin* (Bruxelles), U 125.
- Universités néerlandaises pour la coopération internationale : *Enseignement supérieur et recherches scientifiques aux Pays-Bas.*
- *Acier-Stahl-Steel, revue internationale des applications de l'acier* (Paris), A 201.
- *Archives internationales de pharmacodynamie et de thérapie;* Voir Gand.
- **Tetrahedron Letters. The international organ for the rapid publication of preliminary communications in organic chemistry** (London).

France.

Angers. — Facultés catholiques de l'Ouest : *Revue*, 13 255.

Autun. — Société d'histoire naturelle : *l'Eduen*, 14 485.

Auxerre. — Société des sciences historiques et naturelles de l'Yonne : *Bulletin.*

Banyuls-sur-Mer. — Université de Paris. Laboratoire Arago : *Bulletin* (*Vie et Milieu*); [*Publications*].

Besançon. — Observatoire : *Annales.*

— Université : *Annales scientifiques* (*Botanique, Chimie, Géologie, Mathématiques, Mécanique et physique théorique, Médecine, Physique, Zoologie et physiologie*), 13 945.
— *Annales françaises de chronométrie*, 14 090, (A 1096[A]).
BIARRITZ. — Centre d'études et de recherches scientifiques : *Bulletin*, 13 967.
BORDEAUX. — Société linnéenne : *Actes*, (B 881); *Procès verbaux*, (P 631[A]).
— Union des Ingénieurs de France. Groupe régional de Bordeaux et du Sud-Ouest : *Bulletin d'information spécial* (*Développement industriel du Sud-Ouest; Progrès industriels du Sud-Ouest*); *Revue mensuelle*.
— *Le Botaniste*, 14 705, (B 703).
CLERMONT-FERRAND. — Université. Observatoire du Puy-de-Dôme : *Bulletin*, (O 94).
GRENOBLE. — Société scientifique du Dauphiné : [*Comptes rendus des séances*].
— Université : *Annales de l'Institut Fourier*.
— Id. Faculté des sciences : *Travaux du Laboratoire de Géologie*, 14 615.
LE HOUGA. — Observatoire : *Annales*.
LE MANS. — Société d'agriculture, sciences et arts de la Sarthe : *Mémoires*.
LYON. — Museum d'histoire naturelle : *Nouvelles archives*.
MARSEILLE. — Faculté des sciences : *Annales*, 13 935, (A 310).
MONTPELLIER. — *Annales du laboratoire de cardiologie et de la clinique médicale*.
MULHOUSE. — Société industrielle : *Bulletin*, 20 930, (B 1634).
NANCY. — Association française pour l'étude des eaux. — Voir PARIS.
— Université. École nationale supérieure de géologie appliquée et de prospection minière : *Annales : Sciences de la terre*.
PARIS. — Académie d'agriculture de France : *Comptes rendus hebdomadaires des séances*, 19 050, (B 1861).
— Académie de pharmacie : *Annales pharmaceutiques françaises*, 16 365.
— Académie des sciences : *Annuaire*, (I 235); *Comptes rendus hebdomadaires des séances*, 13 980, (C 758).
— Académie nationale de médecine : *Bulletin*, 15 050, (B 894); *Règlement et personnel*, (R 305).
— Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures : *Annuaire*, (A 1280).
— Association amicale de secours des anciens élèves de l'École normale supérieure : [*Annuaire*], (A 2 386).
— Association amicale des élèves de l'École nationale supérieure des Mines : *Annuaire*.
— Association des Amis des Musées de la Marine : *Neptunia*, 47 195; *Triton*, 47 130.
— Association des anciens élèves de l'École nationale supérieure de chimie de Paris : *Annuaire*.
— Association des ingénieurs en anti-corrosion de France et de l'Union Française : *Annuaire; Bulletin d'Informations; Corrosion et anticorrosion*, 22 330.
— Association française des Éclairagistes : *Annuaire*.
— Association française pour l'avancement des sciences : Voir *Revue générale des sciences pures et appliquées*.
— Association française pour l'étude des eaux. Institut de recherches hydrologiques [Nancy] : *Bulletin mensuel d'information; Eaux et industries*.
— Association nationale des Polios de France : *Polio-France*.

— Bureau de recherches géologiques, géophysiques et minières : *Publication*, (*Rapport annuel*).

— Bureau des Longitudes : *Annuaire*, (A 1370) ; *Connaissance des temps ou des mouvements célestes à l'usage des astronomes et des navigateurs*, (C 921) ; *Éphémérides nautiques ou extraits de la Connaissance des temps*, (C 921).

— Bureau d'études géologiques et minières : *La chronique des mines d'Outre-Mer et de la recherche minière*, 14 600, (C 378[A]).

— Bureau universitaire de statistique et de documentation scolaires et professionnelles : *Annexe statistique au feuillet documentaire*.

— Centre d'Études et Recherches psychotechniques : *Bulletin*.

— Centre d'information cuivre, laitons, alliages : *Cuivre, laitons, alliages*, 22 340.

— Centre d'information du nickel : *Revue du Nickel*, 22 420.

— Centre National de la Recherche Scientifique. Centre de documentation : *Bulletin signalétique*, 13 970-71.

— Id. Service de la carte phytogéographique : *Bulletin*. (*Série* B : *Carte des groupements végétaux*).

— Collège de France : *Annuaire*, (A 1499).

— Comité central d'océanographie et d'études des côtes : Voir Service hydrographique de la Marine.

— Comité électrotechnique français et Union technique de l'électricité : *Revue générale de l'Électricité*, 22 245, (L 183).

— Comité national français de Géodésie et Géophysique : *Comptes rendus*.

— Commissariat à l'énergie atomique : *Rapport C. E. A.*

— Compagnie des lampes : *Mazda contact*, 27 375.

— École normale supérieure : *Annales scientifiques*, 13 940, (A 1120); [*Annuaire*].

— École polytechnique : *Annuaire des anciens élèves*.

— Écoles nationales d'arts et métiers : Voir Société des anciens élèves des écoles nationales d'arts et métiers.

— Expéditions polaires françaises : *Bulletin d'information; Catalogue général; Terre Adélie-Groenland* 1947-1955 : *Bibliographie*; [*Publications*].

— Inspection générale des mines et de la géologie : [*Publications*] (*Polynésie française*).

— Institut d'astrophysique : *Contributions*.

— Institut de Recherches du coton et des textiles exotiques : *Coton et fibres tropicales*, 23 495.

— Institut Henri Poincaré : *Annales*, (A 870[A]).

— Institut national de la Recherche agronomique : *Annales* [Série A : *Annales agronomiques*, 14 690, (A 809); Série A *bis* : **Annales de physiologie végétale**; Série B : *Annales de l'amélioration des plantes*, 14 692; Série C : *Annales des épiphyties*, 18 950, (A 1090); Série D : *Annales de zootechnie*, 14 785; Série E : *Annales de technologie agricole*].

— Institut national de la statistique et des études économiques. *Annuaire statistique de la France; Étude théorique; Statistique des causes de décès*.

— Institut océanographique : *Annales*, (A 873).

— Institut Pasteur : *Annales*, 15 470, (A 874).

— Institut pédagogique national : *Documents pour la classe*.

— Institut scientifique et technique des pêches maritimes : *Revue des travaux*, 14 903.

— Ligue nationale française contre le cancer : *La lutte contre le cancer*, 16 755.

— Marine nationale; *Annuaire de la Marine*, (A 1355).

— Météorologie nationale : *Bulletin annuel du service météorologique de la Métropole et de l'Afrique du Nord; Mémorial de la Météorologie nationale.*

— Ministère de la Défense nationale : *Mémorial de l'Artillerie française*, 29 915, (M 677 *bis*).

— Id. Service de Santé militaire : *Revue du Corps de Santé militaire*, 15 335.

— Ministère de la France d'Outre-Mer : *Terres australes et antarctiques françaises* (*T. A. A. F.*).

— Ministère de l'Air : *Publications scientifiques et techniques* (*Notes techniques*) (P 879^A).

— Ministère de l'Éducation nationale : *Bulletin officiel de l'Éducation nationale*, 11750, 11962; *L'Éducation nationale*, 11890; *Informations statistiques.*

— Id. Bureau universitaire de statistique et de documentation scolaires et professionnelles : *Annexe statistique au feuillet documentaire.*

— Ministère des Affaires Étrangères. Direction des Affaires culturelles et techniques : *Calendrier des réunions et congrès internationaux prévus; Informations scientifiques françaises.*

— Ministère du Travail et de la Sécurité sociale. Direction des services de sélection : *Bulletin du Centre d'études et recherches psychotechniques*, 13 400.

— Muséum national d'histoire naturelle : *Mémoires*, (M 576^A).

— Observatoire de Paris : *Bulletin astronomique*, 14 105, (B 854).

— Id. Bureau international de l'heure : Voir **Publications des Institutions Internationales**.

— Office de la Recherche scientifique Outre-Mer : *L'Agronomie tropicale*, 18 935; *Café, cacao, thé*, 19 028; *Riz et riziculture et cultures vivrières tropicales*, 19160.

— Office national d'études et de recherches aéronautiques : *La Recherche aéronautique*, 29 505.

— Palais de la Découverte : *Conférences.*

— Préfecture de la Seine : *Bulletin bibliographique mensuel.*

— Presses universitaires de France : *Bulletin trimestriel : Moisson de l'esprit*, 27 425.

— Secrétariat d'État à la Marine : Voir Marine nationale.

— Service historique de la Marine : *La revue maritime*, 29 400, (R 1025).

— Service hydrographique de la Marine : *Avis aux navigateurs*, (A 2 647); *Feux et signaux de brume; Instructions nautiques.*

— Id. Comité central d'océanographie et d'études des côtes : *Cahiers océanographiques* (*Bulletin d'information*), 48 250.

— Société astronomique de France : *L'Astronomie*, 14100, (A 247).

— Société chimique de France : *Bulletin*, 14 275, (S 413).

— Société de biologie et de ses filiales : *Comptes rendus des séances*, 14 665, (C 675).

— Société de chimie industrielle : *Chimie et Industrie*, 14 300, (C 342); *Génie chimique*, 22 805.

— Société de chimie physique : *Journal de chimie physique et de physicochimie biologique*, 14 345, (I 368).

— Société de géographie : *Annales de géographie*, 48 170, (A 837).

— Société d'encouragement pour l'industrie nationale : *L'Industrie nationale* (*Comptes rendus et conférences*), 20 680.

Société de pathologie exotique et de ses filiales : *Bulletin*, 15 680, (B 1488).

Société des anciens élèves des écoles nationales d'arts et métiers : *Arts et métiers* 20 000, (A 1400 et B 2 506).

Société des explorateurs et des voyageurs français : *Cahiers des explorateurs*.

Société des ingénieurs civils de France : *Bulletin*, 20 292, (B 1537); *Mémoires*, 20 293, (M 583).

Société française de métallurgie : *Journées d'automne*.

Société française de physiologie végétale : *Bulletin*, 14 720.

Société française des constructions Babcock et Vilcox : *Bulletin technique*.

Société française des électriciens : *Bulletin*, 22 098, (B 1644).

Société géologique de France : *Bulletin*, 14 570, (B 1619); *Compte rendu sommaire des séances*, 14 610, (C 767); *Mémoires*, (M 535).

Société mathématique de France : *Bulletin*, 14120, (B 1658).

Société nationale d'horticulture de France : *Annales*.

Union sociale d'ingénieurs catholiques : *Écho* (***Responsables***), 9 355, (E 18).

Union technique de l'électricité : Voir Comité électrotechnique français et Union technique de l'électricité.

Université : *Livret de l'étudiant*, (A 92).

Age nucléaire (*L'*) (*Revue de l'énergie atomique et des techniques nouvelles*), 14 220.

Agriculture pratique (*L'*), 17 940, (A 299).

Alexanor. Revue des Lépidoptéristes français.

Annales de chimie, 14 230, (A 832).

Annales de physique, 14 240, (A 832).

Annales des ponts et chaussées, 28 205, (A 1475).

Anthropologie (*L'*), 14 630, (M 129).

Arts et Métiers. — Voir Société des anciens élèves des écoles nationales d'arts et métiers.

Bulletin des sciences mathématiques, 14125, (B 1843).

Corrosion et anti-corrosion. — Voir Association des ingénieurs en anti-corrosion.

La Forêt privée.

Ingénieurs et techniciens (*Revue mensuelle des progrès techniques dans l'industrie*), 20 205.

Journal de mathématiques pures et appliquées, 14 170, (J 467).

Mémorial des sciences mathématiques, (M 683[1]).

Mémorial des sciences physiques, (M 683[2]).

Nature (*La*), 14 020, (N 52).

Progrès médical (*Le*), 15 285, (P 684).

La propriété industrielle nucléaire.

Revue de l'Enseignement supérieur, 13 250.

Revue de pathologie générale et de physiologie clinique.

Revue générale des sciences pures et appliquées et Bulletin de l'Association française pour l'avancement des sciences, 14 040, (R 1362).

Sciences. Revue française des sciences et des techniques.

Technique appliquée.

Technique moderne (*La*), 20 310, (T 50).

Terres australes et antarctiques françaises (*T. A. A. F.*). — Voir Ministère de la France d'outre-mer.

ROUEN. — *Revue des Sociétés savantes de Haute-Normandie*, 47 955.

STRASBOURG. — Université. Service de la carte géologique d'Alsace et de Lorraine : *Bulletin*, 14 585, (A 63); *Mémoires*.

TOULON. — Académie du Var : *Bulletin*.

TOULOUSE. — Académie des sciences, inscriptions et belles-lettres : *Mémoires*.

— Université. Observatoire astronomique et météorologique : *Annales*, 14 080, (A 891); *Rapport annuel*.

Albanie.

TIRANA. — Universiteti Shtetëror i Tiranës : *Buletin i Universitetit Shtetëror të Tiranës* (*Seria shkencat natyrore*).

Allemagne.

BAD-KISSINGEN. — Deutsche Wetterdienst : *Die Grosswetterlagen Mitteleuropas*, G 574.

BERLIN. — Deutsche Akademie der Wissenschaften : **Monatsberichte**.

— Id. Forschungs-Institut für Mathematik : *Mathematische Nachrichten*, M 339; *Zentralblatt für Mathematik und ihre Grenzgebiete*, Z 276.

— Id. Klasse für Bergbau, Hüttenwesen und Montangeologie : *Abhandlungen*.

— Id. Klasse für Chemie, Geologie und Biologie : *Abhandlungen*, A 83.

— Id. Klasse für Mathematik, Physik und Technik : *Abhandlungen*, A 83; *Sitzungsberichte*, S 778.

— Humboldt-Universität : *Wissenschaftliche Zeitschrift* (*Mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe*), W 340.

— *Zeitschrift für den Erdkundeunterricht*, Z 119.

BERLIN-DAHLEM. — Botanische Garten und Museum : *Willdenowia* (*Mitteilungen*), W 272.

BONN. — Naturhistoriche Verein der Rheinlande und Westfalen : *Decheniana*, D 113.

BRAUNSCHWEIG. — Verband deutscher physikalischer Gesellschaften : *Physikertag*.

FRANKFÜRT A/MAIN. — Institut für angewandte Geodäsie : *Mitteilungen*, M 1205; *Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen* (Reihe I : *Deutsche Beiträge and Information*), N 25.

— Id. Deutsche geodätische Kommission. — Voir MUNCHEN.

GÖTTINGEN. — Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-physikalische Klasse : *Göttingische gelehrte Anzeigen*, G 404; *Nachrichten* (II : *Mathematisch-physikalische Klasse*), N 28.

HALLE/SAALE. — Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina : *Leopoldina*, L 181; *Struktur und Mitgliederbestand*.

— Martin Luther Universität Halle-Wittenberg : *Wissenschaftliche Zeitschrift* (*Math.-natürwissenschaftliche Reihe*), W 342.

HANNOVER. — Geologische Landesanstalt der Bundesrepublik Deutschland. Amt für Bodenforschung : *Beihefte zum geologischen Jahrbuch*, B 255; *Geologisches Jahrbuch*, G 238.

HEIDELBERG. — Astronomische Rechen-Institut : *Astronomischer Jahresbericht*, A 2683.

Iena. — Friedrich-Schiller-Universität : *Wissenschaftliche Zeitschrift (Mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe)*, W 337.

Köln. — Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen : *Sitzung; Wissenschaftliche Abhandlungen (Naturwissenschaften)*, A 2037.

Leipzig. — Karl-Marx-Universität : *Wissenschaftliche Zeitschrift*, W 341.

Mainz. — Akademie der Wissenschaften und der Literatur : *Abhandlungen der mathematisch-natürwissenschaftlichen Klasse*, A 91.

München. — Bayerische Akademie der Wissenschaften : *Festrede; Jahrbuch*, B 211.

— Id. Deutsche Geodätische Komission : [*Veröffentlichung*]. *Reihe A : Höhere Geodäsie; Reihe B : Angewandte Geodäsie*, D 246.

— Id. Math.-naturwissenschaftliche Klasse : *Abhandlungen*, B 210; *Sitzungsberichte*, B 212.

— Institute for the study of the history and culture of the U. S. S. R. : *Bulletin*, I 630.

Neustadt (Schwarzwald). — Institut für Hirnforschung und allgemeine Biologie : *Journal für Hirnforschung*, J 328.

Offenbach a/Main. — Deutsche Wetterdienst : *Monatlicher Witterungsbericht* M 1313; *Die Grosswetterlagen Mitteleuropas*, G 574.

Potsdam. — Astrophysikalische Observatorium : *Mitteilungen*, M 1194; *Publikationen*, P 1462.

— Deutsche Akademie der Wissenschaften. Geomagnetisches Institut Potsdam : *Jahrbuch*.

Autriche.

Reutte/Tirol. — *Planseeberichte für Pulvermetallurgie vereinigt mit Powder Metallurgy Bulletin*, P 539.

Wien. — Österreichische Akademie der Wissenschaften : *Almanach*, O 300.

— Id. Mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse : *Anzeiger*, O 400; *Denkschriften*, O 401; *Monatshefte für Chemie*, M 1321; *Sitzungsberichte* (I : *Biologie, Mineralogie, Erdkunde und verwandte Wissenschaften*). II : *Mathematik, Astronomie, Physik, Meteorologie und Technik*), O 402.

— *Neue Physik (Zeitschrift für die Gebiete der Atom-und Strahlungsphysik)*.

Belgique.

Bruxelles. — Académie royale de Belgique. Classe des sciences : *Bulletin*, A 143; *Mémoires*, A 150 et 151.

— Académie royale de médecine de Belgique : *Bulletin*, B 1859; *Mémoires*, M 569.

— Académie royale des sciences coloniales. Classe des sciences naturelles et médicales : *Mémoires in-8°*, A 157.

— Id. Classe des sciences techniques : *Mémoires in-8°*, A 158.

— Institut des Parcs nationaux du Congo belge : *Exploration des Parcs nationaux du Congo belge; du Parc national Albert; du Parc national de la Garamba; de l'Upemba*.

— Institut pour la recherche scientifique en Afrique centrale : *Rapport annuel*, I 612.

— Institut royal des sciences naturelles de Belgique : *Bulletin*, B 1906; *Mémoires*, M 574.

— Jardin botanique de l'État : *Bulletin*, B 2099; *Flore générale de Belgique*.

— Ministère des Colonies. Commission de Géologie : *Carte géologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi*.

— Société belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie : *Bulletin*, B 1988; *Compte rendu*.

— Société royale zoologique de Belgique : *Annales*, A 1418.

Gand. — Université. Rijksuniversiteit te Gent : *Algemeen Programma der leergangen*, R 1512; *Plechtige opening der leergangen*, E 307.

— *Archives internationales de pharmacodynamie et de thérapie*, A 2221.

Liège. — Association des amis de l'Université : *Bulletin trimestriel*, A 2629.

— Société géologique de Belgique : *Annales* (*Bulletin* et *Mémoires*), A 1412 et 1413.

— Société royale des sciences : *Bulletin*, B 2030; *Mémoires*, M 589.

— *Archives de biologie*.

Louvain. — Société scientifique de Bruxelles : *Annales*, A 1419; *Revue des questions scientifiques*, R 1335.

Mons. — *Mathesis*, M 342.

Tervuren. — Musée royal du Congo belge : *Rapports annuels*.

Uccle. — Institut royal météorologique de Belgique : *Contributions*, I 615; *Observations ionosphériques* (*Station de Dourbes*); *Publications* (Séries A, B), I 619.

— Observatoire royal de Belgique : *Annales*, A 1395; *Annuaire*, A 1581; *Communications*, C 1257; *Communications : série géographique*, C 1258.

Bulgarie.

Sofia. — Académie bulgare des sciences : *Doklady* (*Comptes rendus*), C 1306.

— Id. Otdelenie za fizikomatematitcheski i tekhnitcheski nauki : *Izvestija na fizitcheskija Institut ANEB* (*Bulletin de l'Institut de Physique A. CA*).

Citta' del Vaticano.

Castel Gandolfo. — Specola astronomica Vaticana : *Catalogo astrografico* (Sezione Vaticana); *Comunicazione*, S 1200; *Miscellanea astronomica*, M 1069; *Ricerche astronomiche*, R 1481.

— Id. Laboratorio astrofisico : *Ricerche spettroscopiche*, R 1489.

Danemark.

Aarhus. — Societates mathematicæ daniæ, fenniæ, islandiæ, norvegiæ, svegiæ : *Mathematica Scandinavica*, M 320.

— Université : *Aarsberetning; Acta Jutlandica* (*Aarsskrift for Aarhus Universitet : medicinsk serie*), A 298.

Copenhague. — Geodaetisk Institut : *Bulletin of the seismological station*, B 2420; *Meddelelse*, G 145.

— Kommissionen for Videnskabelige Undersogelser i Gronland : *Meddelelser om Grønland*, M 416.

— Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab (Académie royale des sciences et des lettres) : *Biologiske Meddelelser*, B 728; *Biologiske Skrifter*, B 729; *Matematisk-fysiske Meddelelser*, M 294; *Matematisk-fysiske Skrifter*, M 295; *Oversigt over Selskabets virksomhed*, K 258.

— Rigsbibliotekarembedet (Bureau central de la Bibliothèque royale, de la Bibliothèque de l'Université de Copenhague et Institut danois des échanges internationaux de publications scientifiques et littéraires) : *Bibliografisk fortegnelse over statens Tryksager; Dania polyglotta*, D 52.

Espagne.

Barcelona. — Consejo superior de investigaciones cientificas. Patronato « Alonso de Herrera ». Instituto botanico de Barcelona : *Collectanea botanica a Barcinonensi botanico Instituto edita*, C 996.

— Institut d'Estudis catalans : *Arxius de la seccio de ciencies*, A 2584; *Cartell de premis*.

— Real Academia de ciencias y artes : *Memorias*, M 677; *Nomina del personal academico y anuario de la corporacion*, R 220.

Granada. — Consejo superior de investigaciones cientificas. Patronato « Santiago Ramon y Cajal ». Universidad. Instituto « Lopez-Neyrá » de Parasitologia : *Revista iberica de parasitologia*, R 1110.

Madrid. — Consejo superior de investigaciones cientificas. Patronato « Alfonso el Sabio ». Instituto de investigaciones geologicas « Lucas Mallada » : *Estudios geologicos*, E 729.

— Id. Instituto « Jorge Juan » de matematicas y Real Sociedad matematica española : *Gaceta matematica*, G 7; *Revista matematica hispano-americana*, R 1135.

— Id. Instituto nacional de geofisica : *Revista de geofisica*, R 836.

— Voir Real Sociedad española de fisica y quimica.

— Id. Patronato « Alonso de Herrera ». Instituto botanico « Antonio Cavanilles » : *Anales* (*Anales del Jardin botanico de Madrid*), A 1267.

— Id. Instituto de edafologia y fisiologia vegetal : *Anales de edafologia y fisiologia vegetal*, A 1211.

— Id. Instituto « Jaime Ferran » de microbiologia : *Microbiologia española*, M 886.

— Id. Instituto « Jose Celestino Mutis » de Farmacognosia : *Farmacognosia*, F 111.

— Id. Id. Laboratorio de citogenetica : *Genetica iberica*, G 130.

— Id. Patronato « Diego Saavedra Fajardi ». Instituto de estudios africanos : *Archivos*, A 2340.

— Id. Instituto « Juan Sebastian Elcano » : *Estudios geograficos*, E 728.

— Id. Instituto « Nicolas Antonio » de bibliografia : *Bibliotheca hispana*, B 618.

— Id. Patronato « Juan de la Cierva » de investigacion tecnica : *Revista de ciencia aplicada*, R 776.

— Id. *Instituto del hierro y del acero* : [*Publication*], I 679.

— Id. Instituto nacional de racionalizacion del trabajo : *Revista*, R 1029.

— Id. Instituto tecnico de la construccion y del cemento : *Informes de la construccion*, I 532.

— Id. Patronato « Santiago Ramon y Cajal ». Instituto Cajal de investigaciones biologicas : *Trabajos*, T 593.

— Id. Instituto de ciencias naturales « Jose de Acosta » : *Boletin de la Real Sociedad española de historia natural*, B 1061.

— Instituto de medicina experimental : *Archivos de medicina experimental*, A 2326.

— Id. Instituto español de entomologia : *Eos, revista española de entomologia*, E 554; *Graellsia, revista de entomologos españoles*, G 521.

— Observatorio astronomico : *Anuario*, A 1939; *Boletin astronomico*, B 967.

— Real Academia de ciencias exactas, fisicas y naturales : *Revista*, R 907.

— Real Sociedad española de fisica y quimica : *Anales* (A : *Fisica*; B : *Quimica*), A 1243.

— Real Sociedad española de historia natural : Voir Patronato « Santiago Ramon y Cajal ». Instituto de ciencias naturales « Jose de Acosta ».

— Universidad : *Revista*, R 930.

San Fernando (Cadiz). — Instituto y Observatorio de marina : *Almanaque nautico*, A 842.

Valencia. — Consejo superior de investigaciones cientificas. Patronato « Santiago Ramon y Cajal ». Instituto nacional de ciencias medicales : *Archivo español de morfologia*, A 2301.

Zaragoza. — Consejo superior de investigaciones cientificas. Patronato « Juan de la Cierva » de investigacion tecnica. Instituto del combustible : *Combustibles*, C 1069.

Finlande.

Helsinki. — Astronomical Observatory : *Publications*.

— Geologinen Tutkimuslaitos : *Bulletin de la Commission géologique de Finlande*, B 1965; *Suomen geologinen Kartta; Suomen geologinen Yleiskartta*.

— Societas geographica fenniæ : *Acta geographica*, A 279; *Fennia*, F 189.

— Societas scientiarum fennica (Finska Vetenskaps Societeten. Suomen Tiedeseura) : *Årsbok-Vuosikirja*, S 965; *Bidrag till Kännedom af Finlands natur och Folk*, B 649; *Commentationes biologicæ*, C 1124; *Commentationes physico-mathematicæ*, C 1126.

— Suomalainen Tiedeakatemia (Academia scientiarum fennica) : *Annales (Toimituksia)* (Series A, B), A 1370; *F(olklore) F(ellows) Communications*, F 24; *Sitzungsberichte der finnischen Akademie der Wissenschaften* (*Proceedings*), S 779.

— Id. Geophysikalische Observatorium : *Veröffentlichungen*, V 162.

— University. Institute of meteorology : *Papers* (*Mitteilungen*), H 192.

Gibraltar.

Voir London. — Meteorological Office.

Grande-Bretagne.

CAMBRIDGE. — Observatories : *Contributions*, C 1479; *Reprints*, C 153.

— Philosophical Society : *Biological Reviews*, B 721 ; *Proceedings (Mathematical and physical sciences)*, P 993.

EDINBURGH. — Royal physical Society : *Proceedings*, R 1786.

Royal Society : *Proceedings*, P 1073; *Transactions*, T 731.

GLASGOW. — University : *Calendar*, G 398.

HAILSHAM. — Royal Greenwich Observatory : *Annals of the Cape Observatory*, A 1542; *Bulletins; Greenwich observations in astronomy, magnetism and meteorology; Observations made at the Royal Observatory, Greenwich in the year in astronomy, magnetism and meteorology*, O 36.

— Voir CAPE OF GOOD HOPE.

HARPENDEN. — Rothamsted experimental Station : *Report*, R 1760; *Rothamsted Memoirs*, R 1762.

HARWELL. — United Kingdom Atomic Energy Authory. Research group : *Publications (Unclassified)*.

LONDON. — U. K. Atomic Energy Authority : *Annual Report*, A 1777.

— British aluminium Company : *Light metals Bulletin*, L 320.

— Chemical Society : *Journal*, J 646; *Proceedings*, P 996.

— Ciba Foundation : *Colloquia on Ageing;* **Study group**: *Symposium; Ten year Report; Report.*

— Geological Society : *Proceedings*, P 1008; *Quarterly Journal*, Q 72.

— Institution of electrical Engineers : *Science abstracts* (A : *Physics abstracts*, P 482; B : *Electrical Engineering abstracts*, E 342).

— Institution of mechanical Engineers : *The Chartered mechanical Engineer*, C 636; *Proceedings*, P 1024.

— Id. Automobile division : *Proceedings*, P 1024.

— Linnean Society : *Journal (Botany, Zoology)*, J 759; *Proceedings*, P 1033.

— Meteorological Office : *Geophysical Memoirs*, G 256; [*Meteorological extracts from the annual reports of Bechuanaland, Ceylon, Gibraltar, Malta, Mauritius, Amman, Ascension Island and St-Helena*]; *Monthly Weather Report*, M 1493; *The Observatorie's Yearbook*, O 46; *Professional Notes*, M 831; *Report for the year.*

— Nautical Almanac Office : *The astronomical ephemeris*, N 292.

— Royal astronomical Society : *Monthly Notices*, M 1440.

— Royal geographical Society : *Geographical Journal*, G 167.

— Royal Institution of Great Britain : *Proceedings*, P 1066; *Record*, R 244.

— Royal Society : *Biographical Memoirs of fellows; Notes and Records; Philosophical Transactions*, P 440; *Proceedings* (Séries A et B), P 1074; *Year Book*, Y 75

— Royal Society of Medicine : *Proceedings*, P 1075.

— Science Museum Library : *List of accessions to the Library*, S 380.

— **Contemporary physics.**

— *Electrical Review*, E 349.

— *Endeavour*, E 465.

— *Nature*, N 257.

— **Perspective; Quarterly Review of Progress in Photography, Cinematography, sound and image recording.**
— *Platinum metals Review*, P 566.
— *Progress*, P 1138.
LONG ASHTON. — University of Bristol. Agricultural and horticultural Research Station (The National fruit and cider Institute) : *The annual Report*, A 1672.
MANCHESTER. — Literary and philosophical Society : *Memoirs and Proceedings*, M 601.
— *Metallurgia*, M 800.
OXFORD. — *Oxford economic papers*, O 509.
RAINHAM. — *Murex Review*, M 1625.
SANDWICH. — *Petbow Magazine*.
TEDDINGTON. — National physical Laboratory : *Quarterly list of papers published*.
WORMLEY. — National Institute of Oceanography : *Discovery Reports*, D 431.
— National oceanographic Council : *Annual Report*, A 1748.

Grèce.

ATHÈNES. — Académie d'Athènes : *Praktika*, P 821.

Hongrie.

BUDAPEST. — Institut de recherches de ressources hydrauliques : *Vizügyi közlemények* (*Revue d'hydraulique*), V 384.
— Magyar Tudomanyos Akademia (Academie scientiarum hungaricæ) : *Acta agronomica*, A 214; *Acta biologica*, A 237; *Acta botanica*, A 242; *Acta chimica*, A 249; *Acta geologica*, A 281; *Acta mathematica*, A 306; *Acta medica*, A 307; *Acta microbiologica*, A 327; *Acta morphologica*, A 330; *Acta physica*, A 381; *Acta physiologica*, A 385; *Acta technica*, A 420; *Acta veterinaria*, A 436; *Acta zoologica*, A 441; *Magyar Tudomany*, M 104.
SZEGED. — Université. Institut Bolyai : *Acta scientiarum mathematicarum*, A 433.

Irlande.

DUBLIN. — Dunsink Observatory : [*Annual report*]; *Miscellaneous reprints*, D 597.
— Royal Dublin Society : *Economic Proceedings*, E 129; *The scientific Proceedings*, S 417.
— Royal Irish Academy : *Proceedings*, P 1067.

Italie.

CATANIA. — Accademia gioenia di scienze naturali : *Bollettino delle sedute*, B 1358.
FIRENZE. — Istituto geografico militare : *Bollettino di geodesia e scienze affini*, B 1361; *L'Universo*, U 555.

MESSINA. — Societa Peloritana di scienze fisiche, matematiche e naturali : *Atti*, A 2 767.

MILANO. — Associazione italiana della stampa tecnica, scientifica e periodica : *Bibliografica farmaceutica. Signalazioni bibliografiche mensili*, A 2 651.

— Istituto lombardo di scienze e lettere : *Rendiconti* (*Scienze biologiche e mediche; Scienze matematiche, fisiche, chimiche e geologiche*), I 1048.

— Società italiana di chemioterapia. *Giornale di Chemioterapia*, T 258.

— Società lombarda di scienze medico-biologiche : *Atti*, A 2 763.

MODENA. — Accademia di scienze, lettere ed arti : *Atti e memori*, A 167.

— Università. Osservatorio geofisico : *Pubblicazioni*, P 1298.

NAPOLI. — Istituto sieroterapico italiano : *Rivista*, R 1567.

— Società italiana di biologia sperimentale : *Bollettino*, B 1339.

— Società nazionale di scienze, lettere ed arti : *Rendiconti dell' Accademia delle scienze fisiche e matematiche*, R 380.

— Università. Facolta di medicina veterinaria : *Acta medica veterinaria*, A 322.

PADOVA. — Università : *Rendiconti del Seminario matematico*, R 375.

PALERMO. — Circolo matematico : *Rendiconti*, R 372.

PARMA. — *Pioppicoltura ed altre coltivazioni arboree da legno.*

PISA. — Università. Facolta d'Ingegneria : *Pubblicazioni*, P 1302.

ROMA. — Accademia nazionale dei Lincei : *Annuario*, A 1834; *Atti* (*Memorie, Rendiconti*) (*Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali*), A 2 750.

— Accademia nazionale dei XL : *Rendiconti*, A 169.

— Consiglio nazionale delle ricerche : *La Ricerca scientifica*, R 1480.

— Istituto superiore di Sanità : *Rendiconti*, I 1056.

— Ministero dell' agricoltura e delle foreste. Direzione generale della produzione agricola : *Annali della sperimentazione agraria*, A 1494.

ROVIGNO D'ISTRIA. — Istituto italo-germanico di biologia marina : *Thalassia*, T 339.

TORINO. — Accademia delle scienze : *Atti*, A 2 745; *Memorie*, M 699.

TRIESTE. — Istituto sperimentale talassografico : *Pubblicazioni*, I 1057.

— Osservatorio geofisico sperimentale : **Bollettino di geofisica teorica ed applicata**; *Pubblicazioni*, T 390.

VENEZIA. — Centro di studi talassografici del Consiglio nazional delle ricerche : *Archivio di oceanografia e limnologia*, A 2 253.

— Istituto di biologia marina per l'Adriatico : *Nova thalassia*, N 935.

— Istituto veneto di scienze, lettere ed arti : *Atti* (*Classe di scienze matematiche e naturali ; parte generale e atti ufficiali*), I 1062; *Memorie* (*Classe di scienze matematiche e naturali*), I 1063.

Luxembourg.

LUXEMBOURG. — Institut Grand-ducal. Section des sciences naturelles, physiques et mathématiques : *Archives*, I 597.

Malte.

VALLETTA. — Voir LONDON. — Meteorological Office.

Monaco.

MONACO. — Institut océanographique : *Bulletin*, B 1904.

Norvège.

BERGEN. — Geophysical Commission : *Annual Report.*
— Norske Institutt for kosmisk fysikk : *Publikasjoner*, P 1460.
— Université : *Årbok* (*Medisinsk rekke ; Naturvitenskapelig rekke*), U 342; *Årsmelding*, U 343.
BLINDERN (OSLO). — Université. Matematisk Institutt : *Nordisk matematisk Tidskrift*, N 670.
OSLO. — Norske ingeniorforening og den polytekniske forening : *Teknisk Ukeblad*, T 203.
— Norske meteorologiske Institutt : *Norsk meteorologisk Årbok*, N 724.
— Norske videnskaps-Akademi : *Astrophysica Norvegica*, A 2 684; *Geofysiske Publikasjoner*, G 152.

Pays-Bas.

AMSTERDAM. — Excerpta medica Foundation : **Cancer current literature index**; *Excerpta medica* (Section II : *Physiology, Biochemistry and Pharmacology*; Section XVI : *Cancer*), E 843.
— Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen : *Jaarboek*, J 5; *Proceedings* (Séries A : *Mathematical sciences;* B : *Physical sciences;* C : *Biological and medical sciences*), K 278 ; *Verhandelingen* (*Afd. Natuurkunde*), V 99.
— Wiskundig Genootschap (Mathematical Society) : *Nieuw archief voor Wiskunde*, N 598; *Wiskundige opgaven met de oplossingen*, W 324.
— *Physica* (Série IV A des *Archives néerlandaises des sciences exactes et naturelles*), P 476.
DE BILT. — Koninklijk Nederlands meteorologische Instituut : *Mededelingen en Verhandelingen* (*Publications*), K 274.
DEN HELDER. — Société néerlandaise de zoologie : *Archives néerlandaises des sciences exactes et naturelles* (Série IV B) : *Archives néerlandaises de zoologie*, A 2 223.
GRONINGEN. — Kapteyn astronomical Laboratory : *Publications*, P 1435.
LEIDEN. — Sterrewacht : *Annalen*, A 1365.
— University. Kamerlingh Onnes Laboratory : *Communications*, C 1265.
'S GRAVENHAGE. — Centrale Organisatie voor Toegepast-natuurwetenschappelijk Onderzoek (T. N. O.) (Central national Council for applied scientific research in the Netherlands) : *Jaarverslag.*
— Fondation des Universités néerlandaises pour la coopération internationale : *Bulletin; Enseignement supérieur et recherches scientifiques aux Pays-Bas*, E 530.
UTRECHT. — Rijksuniversiteit : *Onderzoekingen gedaan in het physiologisch Laboratorium*, O 216.

Pologne.

Bialystok. — Akademia Medyczna im. Juliana Marchlewskiego : *Roczniki; Sklad osobowy i program wykladow; Sklad osobowy i spis wykladow.*

Krakow. — Polska Akademia nauk. Oddzial w Krakowie : *Rocznik; Sprawozdania z posiedzen komisji.*

— Id. Zaklad farmakologii : *Dissertationes pharmaceuticæ*, D 442.

— Polskie Towarzystwo botaniczne (Société botanique de Pologne) : *Fragmenta floristica et geobotanica*, F 680.

— Polskie Towarzystwo geologiczne (Société géologique de Pologne) : *Rocznik Polskiego Towarzystwa geologicznego* (*Annales*), R 1707.

— Université Jagellon et Académie polonaise des sciences. Institut de Botanique : *Publicationes Instituti botanici*, P 1387.

Lods. — Polska Akademia nauk. Instytut M. Nenckiego : Voir Warszawa.

Lublin. — Université Marie Curie-Sklodowska : *Annales* (Sectio DD : *Medicina veterinaria*; Sectio E : *Agricultura*), A 1462.

Poznan. — Poznanskie Towarzystwo Przyjaciol nauk (Société des amis des sciences et des lettres) : *Sprawozdania* [*Publications*,] S 1250.

— Id. Wydzial lekarski : *Prace komisji farmaceutycznej; Prace komisji medycyny doświadczalnej.*

— Id. Wydzial matematyczno-przyrodniczy : *Prace komisji biologicznej*, P 790; *Prace komisji matematyczno-przyrodniczej*, P 795 ; *Prace komisji nauk rolniczych i lesnych*, P 796; *Prace monograficzne nad przyroda wielkopolskiego parku narodowego pod Poznaniem*, P 798.

— Id. Id. Komitet fizjograficzny : *Badania fizjograficzne nad Polska Zachodnia*, B 24.

— Uniwersytet im. Adama Mickiewicza : *Spis Wykladow*, U 558.

Torun. — Towarzystwo naukowe w Toruniu (Societas scientiarum Torunensis) : *Spis Wydawnictw* (*Liste des publications*).

— Uniwersytet Mikola Kopernika : *Sklad osobowy i spis wykladow* (*annuaire*); *Wydawnictwa* (*Publications*).

Warszawa. — Centralny Instytut dokumentacji naukowo-techniczne (Institut central de documentation technique et scientifique) : *Obzor pol'skojtekhničeskoj literatury* (*Polish technical abstracts*), O 62.

— Polska Akademia nauk (Académie polonaise des sciences) : *Bulletin de l'Académie polonaise des sciences* (*Série des sciences biologiques; Série des sciences chimiques, géologiques et géographiques; Série des sciences mathématiques, astronomiques et physiques*), B 1857; *Monografie matematyczne; Nauka Polska*, N 280; *The Review of the Polish Academy of sciences*, R 670; *Zeszyty problemowe nauki polskiej*, Z 292.

— Distribution Centre for scientific publications : *Quarterly Review of scientific publications*, Q 93.

— Id. Instytut biologii doswiadczalnej, im. M. Nenckiego : *Acta biologiæ experimentalis*, A 236; *Polskie archiwum hydrobiologii*, P 654.

— Id. Instytut budownictwa wodnego : *Archiwum hydrotechniki*, A 2 379.

— Id. Instytut fiziki : *Acta physica polonica*, A 383.

— Id. Instytut historii kultury materialnej : *Kwartalnik historii kultury materialnej*, K 451.

— Id. Instytut podstawowych problemow techniki : *Archiwum mechaniki stosowanej* (*Archives de mécanique appliquée*), A 2 382.

— Id. Wydzial nauk medycznych : *Rozprawy wydzialu nauk medycznych*, R 1805.

— Polskie Towarzystwo botaniczne (Société botanique de Pologne) : *Acta societatis botanicorum poloniæ*, A 409; *Monographiæ botanicæ*, M 1372.

Wroclaw. — Polska Akademia nauk. Instytut matematyczny : *Colloquium mathematicum*, C 1031; *Studia mathematica*, S 1694; *Zastosowania matematyki*, Z 49.

— Polski zwiazek entomologiczny (Société polonaise des entomologistes) : *Klucze do oznaczania owadow Polski*, K 173; *Polskie pismo entomologiczne* (*Bulletin entomologique de la Pologne*), P 656.

— Polskie Towarzystwo zoologiczne : *Zoologica Poloniæ* (*Archivum Societatis zoologorum poloniæ*), Z 329.

— Wroclawskie Towarzystwo naukowe (Société des sciences et des lettres) : *Prace* (*Travaux*), P 806.

Portugal.

Coimbra. — Universidade. Museu e laboratorio mineralogico e geologico : *Memorias e noticias*, M 1640.

— Id. Observatorio astronomico : *Efemerides astronomicas*, E 254.

Lisboa. — Academia das ciencias : *Anuario academico*, A 126.

— Faculdade de ciencias. Sociedade Portuguesa de matematica : *Portugaliæ mathematica*, P 714.

— Serviços geologicos de Portugal : *Comunicações*, C 1321.

— *Gazeta de matematica*, G 64.

Setubal. — *A Previsão do Tempo*, P 887.

Roumanie.

Bucuresti. — Academia Republicii populare Romîne : *Analele*, A 1196; **Biblioteca de biologie vegetale**; *Biblioteca de geologia și paleontologia; Biblioteca de zootehnie și medicina veterinaria; Biblioteca matematica; Biblioteca medicală; Biblioteca stiintelor tehnice; Comunicările*, C 1824: *Fauna Republicii populare Romîne; Monografii de fizica; Probleme de cardiologie; Probleme de reumatologie*, P 939: *Revue de biologie*, R 1257; *Revue de chimie*, R 1258; *Revue de géologie et de géographie*, R 1266; *Revue d'électrotechnique et d'énergétique*, R 1248; *Revue de mathématiques pures et appliquées*. R 1309; *Revue de physique*, R 1313; *Studii și cercetari de astronomie și seismologie; Studii și cercetari de biologie* (*seria biologie animală, biologie vegetală*), S 1762; *Studii și cercetari de chimie*, S 1763.

— Id. Centrul de cercetari antropologie : [*Publications*].

— Id. Centrul de cercetari metalurgica : *Revue roumaine de métallurgie; Studii și cercetări de metalurgie*, S 1777.

— Id. Commission pour la protection de la nature : *Ocrotirea naturii* (*Buletinul comisiei pentru ocrotirea monumentelor naturii*).

— Id. Institutul de biochimie : *Studii și cercetări de biochimie*.

— Id. Institutul de cercetari economice : *Probleme economice*.

— Id. Institutul de endocrinologie « Prof. C. I. Parhon » : *Studii și cercetări de endocrinologie*, S 1765.

— Id. Institutul de energetică : *Studii și cercetări de energetică*, S 1766.

— Id. Institutul de fizica atomică și Institutul de fizica : *Studii și cercetări de fizica*, S 1767.

— Id. Institutul de fiziologie normala și patologica « Dr. D. Danielopolu » *Studii și cercetări de fiziologie*, S 1768.

— Id. Institutul de geologie și geografie : *Probleme de geografie*, P 938.

— Id. Institutul de inframicrobiologie : *Studii și cercetari de inframicrobiologie*, S 1770; *Studii și cercetări de inframicrobiologie, microbiologie și parazitologie*, S 1770.

— Id. Institutul de matematica : *Monografii asupra teoriei algebrice a mecanismelor automate; Studii și cercetări matematice*, S 1782.

— Id. Institutul de mecanică aplicată « Traian Vuia » *Revue de mécanique appliquée*, R 1310; *Studii și cercetări de mecanică aplicată*, S 1775.

— Id. Institutul de neurologie I. P. Pavlov : **Culegere de studii si monografii de neurologie**; *Studii și cercetări de neurologie*, S 1778.

— Id. Institutul de terapeutică : *Probleme de terapeutica*, P 940.

— Id. Observatorului diu Bucuresti : *Anuarul*.

— Id. Sectia de geologie și geografie și Institutul de geologie și geografie : *Studii și cercetări de geologie*, S 1769.

— Institutul Politehnic : *Buletinul*.

— Societatea de stiinte matematice și fizice din R. P. R. *Bulletin mathématique de la Société des sciences mathématiques et physiques de la République Populaire Roumaine*, B 2159.

— Université Parhon : **Analele Universitatii « C. I. Parhon » : Seria Acta logica**, A 1202.

Cluj. — Academia Republicii populare Romîne. Filiala Cluj : *Studii și cercetări de agronomie*, S 1760; *Studii și cercetări de biologie*, S 1762; *Studii și cercetări de chimie*, S 1764; *Studii și cercetări de geologie-geografie*, S 1769; *Studii și cercetări de matematică*, S 1774.

— Id. Institutul de calcul : *Studii și cercetări de matematică*, S 1774.

— Id. Institutul de cercetari medicale : *Studii și cercetări de medicina*, S 1776.

— Universités V. Babes et Bolyai : **Buletinul Seria stiintele**) et **Közlemenyei** (**Termeszettudomanyi sorozat**).

Jasi. — Institutul politehnic din Jași : *Buletinul*, B 1764.

— Universitatea « Alex I. Cuza ». *Analele stiintifice* (*I. Matematică, Fizică, Chimie*), A 1201.

Timișoara. — Academia Republicii populare Romîne. Baza de cercetari stiintifice : *Studii și cercetări* (*științe chimice; științe medicale*), S 1783.

Suède.

DJURSHOLM. — Institut Mittag Leffler : *Acta mathematica*, A 305.

GÖTEBORG. — Kungliga Vetenskaps-och Vitterhets-Samhälles : *Bihang*, B 655; *Handlingar*, G 496; *Reports of the Swedish Deep-sea expedition* 1947-1948, R 507.

LUND. — Université : *Lunds Universitets Arsskrift*, A 432.

STOCKHOLM. — Kungl. Svenska Vetenskapsakademiens : *Arkiv för Astronomi*, A 2 436; *Arkiv för Botanik*, A 2 437; *Arkiv för Fysik*, A 2 438; *Arkiv för Geofysik*, A 2 439; *Arkiv för Kemi*, A 2 440; *Arkiv för Matematik*, A 2441; *Arkiv för Zoologi*, A 2 444; *Årsbok*, K 397; *Avhandlingar i naturskyddsärenden*, K 398; *Handlingar*, K 399.

— Id. Bibliotek : *Anteckningar*.

— Sveriges geologiska Undersökning : *Arsberättelse; Avhandlingar och Uppsatser*, S 2 022; *Årsbok*, S 2 021; *Jordartskarta; Oversiktskartor med beskrivningar; Publikationer*.

UPPSALA. — Regiæ Societatis Scientiarum Upsaliensis (Kungl. Vetenskaps-Societeten) : *Årsbok*, K 409.

— Seismological Laboratory : *Seismological Bulletin*.

— Université : *Inbjudan till de offentlige högtidligheter vid vilka; Redogörelse för det akademiska året...; Uppsala Universitets Årsskrift* (*Acta*), U 581.

— Id. Meteorologiska Institutionen : *Meddelande*, M 846.

— Id. Société médicale : *Upsala Läkareförenings Förhandlingar* (*Acta Societatis medicorum Upsaliensis*), A 410.

Suisse.

BÂLE. — Société de chimie helvétique : *Helvetica chimica acta*, H 196.

— Université. Bibliothèque : *Catalogue des écrits académiques suisses*, J 125.

BERNE. — Bibliothèque nationale suisse : *Bibliographia scientiæ naturalis helvetica*, B 531.

— Naturforschende Gessellschaft in Bern : *Mitteilungen*, M 1166.

— Société helvétique des sciences naturelles : *Actes*, A 454 : *Mémoires*, M 585.

GENÈVE. — Observatoire : *Publications*, P 1403.

— Société de physique et d'histoire naturelle : *Archives des sciences*, A 2 212.

— *Journal de chimie physique*. Voir PARIS : Société de chimie physique.

LAUSANNE. — Société vaudoise des sciences naturelles : *Bulletin*, B 2 036; *Mémoires*, M 591.

— Stations fédérales d'essais agricoles : *Publications*, S 1377.

ZURICH. — Eidgenössiche Sternwarte. International Astronomical Union : Voir **Publications des Institutions internationales**.

— Schweizerische meteorologische Zentralanstalt : *Annalen*, A 1362.

Tchécoslovaquie.

BRATISLAVA. — Drevársky výskumný ústav (Institut de recherches de production forestière) : *Drevársky výskum*, D 560; *Sborník prác z odborn výskumu dreva.*

Slovenska Akademie věd a umeni (Academia scientiarum et artum slovaca) : *Biológia*, B 710; *Bratislavské lekárske listy*, B 1516; *Chemické zvesti*, C 667; *Elektrotechnický časopis*; *Geograficky časopis*, G 155; *Geologicky sbornik*, G 220; *Matematicko-fysikálny časopis*, M 291; *Naša veda*, N 100; *Neoplasma*, N 361; *Pol'nohospodarstvo*, P 639; *Sborník zo sjazdu chemikov*; *Strojnicky časopis*, S 1632; *Vodohospodarsky časopis*, V 401.

— Slovenska Akademie vied. Sekcia vied lekarskych a biologickych : [*Publications*].

— Id. Sekcia vied matematickych a prirodnych : [*Publications*].

— Id. Sekcia vied technickych : [*Publications*].

— Université J. A. Comenius. Faculté des sciences : *Acta Facultatis rerum naturalium Universitatis Comenianæ.*

BRNO. — Československa Akademie věd : *Prace Brněnské základny Ceskoslovenské Akademie věd* (*Acta Academiæ scientiarum cechoslovenicæ basis Brunensis*), P 771.

— Fakulta veterinarna : *Spisy fakulty veterinarni.*

— Université Masaryk. Faculté de médecine : *Scripta medica*, S 464.

— Id. Faculté des sciences : *Spisy* (*Publications*), S 1227.

— Vysokà škola zemědělskà (Faculté d'agriculture) : *Sbornik vysoké školy zemědělské a lesnické Fakulty v Brně* (*Acta universitatis agriculturæ et sylviculturæ*), (Rada A : *Spisy Fakulty agronomické a zootechnické*; C : *Spisy Fakulty lesnické*), S 176.

PRAHA. — Československa Akademie věd (Académie tchèque des sciences) : *Bulletin*; *Collection of czechoslovak chemical communications*, S 161; *Czechoslovak Journal of physics*, C 454; *Czechoslovak mathematical Journal*, C 455; *Rospravy* (*Řada matematických a přírodních věd; Rada technických věd; Rada společenskych věd*), R 1796; *Vědeckà kniha*, V 62; *Verlag.*

— Id. Geofysikàlni Ustav : *Bulletin séismique des stations séismologiques tchécoslovaques*, B 1797; *Geofysikalni Sbornik* (*Travaux géophysiques*), G 151; *Studia geophysica et geodætica*, S 1684.

— Id. Institute of biology : **Biologia plantarum.**

PRAHA-BRATISLAVA. — Ceskoslovenska Akademie věd. Publishing House : *Bulletin.*

Turquie.

ISTANBUL. — Université. Faculté des sciences : *Communications* (Série B : *Chimie*; Série C : *Sciences naturelles*); (*Revue*) *Istanbul üniversitesi fen fakültesi mecmuasi*, I 1033[1].

Union des Républiques Soviétiques Socialistes.

ABASTUMANI. — Académie des sciences de Géorgie. Abastuman'skaja astrofisitcheskaja Observatorija : *Bioulleten*, A 40.

BAKOU. — Académie des sciences d'Azerbaïdjan : **Azerbaïdjanskiï khimitcheskiï Journal**; *Doklady*, A 2974; *Izvestija Akademii nauk Azerbaïdjanskoï SSR*, (*Serija biologitcheskikh i sel'skokhoziaïstvennykh nauk; Serija fiziko-matematitcheskikh i tekhnitcheskikh nauk; Serija fiziko-tekhnitcheskikh i khimitcheskikh nauk; Serija geologo-geografitcheskikh nauk; Serija obchtchestvennykh nauk*), I 1109; *Troudy sektora astrofiziki;* [*Publications*].

— Id. Institut botaniki : *Troudy Instituta botaniki*, T 888.

— Id. Institut fiziki i matematiki : *Troudy Instituta fiziki i matematiki*, T 892.

— Id. Institut genetiki i selektsii : *Troudy Instituta genetiki i selektsii.*

— Id. Institut geografii : *Geomorfologija Azerbaïdjanskoï SSR; Troudy Instituta geografii.*

— Id. Institut geologii im. akad. I. M. Goubkina : *Troudy Instituta geologii*, T 900.

— Id. Institut zoologii : *Troudy Instituta zoologii*, T 935.

EREVAN. — Académie arménienne des sciences : *Doklady*, D 502; *Izvestija* (*biologitcheskie nauki*; *khimitcheskie nauki; obchtchestvennye nauki*; *Serija fizikomatematitcheskikh nauk*; *Serija estestvennikh i tekhnitcheskikh nauk*; *Serija geologitcheskikh i geografitcheskikh nauk*; *Serija tekhnitcheskikh nauk*), I 1108; *Soobchtchenija Biourakanskoï Observatorii*, S 1039.

KAZAN. — Université V. I. Oulianov-Lenine : *Outchenie zapiski Kazanskogo gosoudarstvennogo Universiteta imeni V. I. Oulianova-Lenina* (*Biologija*); *Obchtcheuniversitetskiï sbornik* (*Estestvennye nauki*), U 16.

— Id. Astronomitcheskaja Observatorija im. V. P. Engel'gardta : *Ottisk.*

KIEV. — Académie des sciences de l'Ukraine : *Dopovidi*, D 539; *Oukrains'kiï khimitcheskiï Journal*, U 58; *Visnyk*, V 352.

— Id. Institut biokhimiï : *Oukrains'kii biokhimitchnii Journal*, U 67.

— Id. Institut botaniki : *Flora U. R. S. R.; Oukraïns'kii botanitchnii Journal*, U 68.

— Id. Institut boudivel'noï mekhaniki : *Prikladna mekhanika*, P 894.

— Id. Institut elektrosvarki E. O. Patona : *Avtomatitcheskaja Svarka*, A 2962.

— Id. Institut elektrotekhniki : *Avtomatika*, A 2963.

— Id. Institut fiziologii im. O. O. Bogomol'tsia : *Fiziologitchnii Journal*, F 393.

— Id. Institut matematiki : *Oukrains'kiï matematitscheskiï Journal*, U 59.

— Id. Institut mikrobiologii im. akad. D. K. Zabolotnogo : *Mikrobiologitchniï Journal*, M 917.

— Id. Jardin botanique : *Troudy botanitcheskogo sada.*

— Id. Observatoire astronomique principal : *Izvestija glavnoï astronomitcheskoï Observatorii*, I 1120.

— Id. Viddil fizikomatematitchnikh nauk (Institut des sciences physico-mathématiques) : *Oukraïns'kiï fizitchniï Journal*, U 69.

— Id. Viddil khimitchnikh i geologitchnikh nauk (Institut des sciences chimiques et géologiques) : *Geologitchniï Journal*, G 221.

— Université T. G. Chevtchenko (Observatoire astronomique) : *Cirkuljar; Troudy Kievskoï astronomitcheskoï Observatorii*, T 940.

Leningrad. — Académie des sciences de l'U. R. S. S. — Voir Moscou.

— Gornyï Institut (Institut des mines) : *Zapiski (geologija; gidrogeologija i injeneriaja; markcheïderskoe delo geodezija; matematika, fizika, mekhanika; roudnitchnaja ventiliatsija)*, Z 39.

— Université : *Vestnik Leningradskogo Universiteta (Seria fiziki i khimii; geologii i geografi; matematikii, mekhaniki i astronomii)*, V 229.

Lvov. — L'vovskiï gosoudarstvennyi Universitet imeni Ivana Franko : *Dopovidi ta Povidomlennia*, D 540; *Fizitcheskiï Sbornik; Khimitchnii Zbirnik; Pitannia geologii (Voprosy geologii); Pitannia mekhaniki i matematiki (Voprosy mekhaniki i matematiki); Problemy zoogeografii souchi; Voprosy mineralogii osadotchnykh obrazovaniï*, V 469.

— Id. L'voskoe geologitcheskoe Obchtchestvo : *Geologitcheskiï Sbornik*, G 217; *Mineralogitcheskii Sbornik*, M 963.

— Id. Otdelenie Oukrainskogo botanitcheskogo Obchtchestva : *Rost Rasteniï*.

Minsk. — Académie des sciences de Bielorussie : *Doklady*, D 504; *Vestsi Akademii navouk BSSR (Seryja bijalagitchnykh navouk; Seryja fizika-tekhnitchnykh navouk) (Izvestija)*, V 212.

— Id. Institut biologii : *Bioulleten'*, B 777; [*Publications*].

— Id. Institut energetiki : [*Publications*].

— Id. Institut fiziki i matematiki : *Troudy Instituta fiziki i matematiki*.

— Id. Institut geologitcheskikh nauk : [*Publications*].

— Id. Institut torfa (Institut de la tourbe) : [*Publications*].

Moscou. — Académie d'économie rurale : *Doklady Vsesoiouznoï ordena Lenina Akademii sel'skokhoziaïstvennykh nauk imeni V. I. Lenina*, D 507.

— Id. Vsesoiouznyï Institut rastenievodstva : *Troudy po prikladnoï botanike, genetike i selektsii*, T 962.

— Académie des sciences de l'U. R. S. S. : *Akoustitcheskiï Journal*, A 751; *Biofizika*, B 699; *Biokhimija*, B 706; **Citologija**; *Doklady*, D 503; **Fizika tverdogo tela**; *Fiziologija Rasteniï*, F 394; *Fiziologitcheskiï Journal SSSR*, F 392; *Geokhimija*, G 179; **Geologija roudnykh mestorojdeniï**; *Izvestija (Otdelenie khimitcheskikh nauk, tekhnitcheskikh nauk (Energetika i avtomatika; Metallurgia i Toplivo; Mekhanika i machinostroenie); Serija biologitcheskaja; fizitcheskaja; geografitcheskaja; geologitcheskaja; matematitcheskaja)*, I 1112; *Journal analititcheskoi khimii*, Z 367; *Journal eksperimentalnoï i teoretitcheskoï fiziki*, Z 368; *Journal fizitcheskoï khimii*, Z 369; *Journal nautchnoï i prikladnoï fotografii i kinematografii*, Z 372; *Journal neorganitcheskoï khimii*, Z 373; *Journal obchtchei biologii*, Z 375; *Journal obchtcheï khimii*, Z 376; *Journal prikladnoï khimii*, Z 377; *Journal tekhnitcheskoï fiziki*, Z 378; *Journal vyscheï nervnoï deiatel'nosti imeni I. P. Pavlova*, Z 379; *Kolloidnyï Journal*, K 217; *Kristallografija*, K 347; *Matematitcheskii Sbornik*, M 289; *Mikrobiologija*, M 918; *Optika i spektroskopija*, O 253; *Ouspekhi fizitcheskikh nauk*, U 600; *Ouspekhi khimii*, I 601; *Ouspekhi matematicheskikh nauk*, U 602; *Ouspekhi sovremennoï biologii*, U 604; **Paleontologitcheskiï Journal**; *Potchvovedenie*, P 583; *Pribory i tekhnika eksperimenta*, P 890; *Priroda*, P 914; **Radiokhimija**; *Radiotekhnika i elektronika*, R 83; *Teorija veroiatnosteï*

i ee primenenija, T 255; *Vestnik* (*Nouvelle*), V 219; **Vysokomolkuliarnye soedinenija**; *Zoologitcheskii Journal*, Z 331.

— Id. Administration générale pour l'utilisation de l'énergie atomique (Glavnoe oupravlenie po ispol' zovaniou atomnoï energii) : *Atomnaja energija*, A 2722 et *Prilojenie* (*Annexe*), A 2723; *Sovremennoe oboroudovanie dlia raboty s radioaktivïymi izotopami*.

— Id. Bureau astronomique : *Astronomitcheskiï cirkuljar*, A 2676.

— Id. Conseil astronomique : *Obchtchiï katalog peremennykh zvezd*; [*Publications*]; *Peremennye zvezdy* (*Bioulleten' izdaveemyï astronomitcheskim Sovetom*), P 315.

— Id. Institut d'astronomie théorique : *Astronomitcheskii ejegodnik SSSR*, A 2677; *Bioulleten' instituta teoretitcheskoï astronomii*, B 778; *Efemeridy malykh planet*, E 255.

— Id. Institut d'ethnographie Mikloukho-Maklaja : *Sovetskaja etnografija*, S 1130.

— Id. Institut d'informations scientifiques : *Referativnyï Journal* (*Astronomija-geodezija; biologija; elektrotekhnika; fizika; geografija; geologija; khimija; machinostroenié; matematika; mekhanika; metallurgija*), R 296.

— Id. Institut paléontologique : *Troudy paleontologitcheskogo Instituta*, T 959.

— Id. Komitet po geodezii i geofizike : *Informatsionnyï Bioulleten'*.

— Id. Observatoire astronomique de Crimée (Voir Simiez).

— Id. Section des sciences techniques : *Prikladnaija matematika i mekhanika*, P 895,

— Id. Id. Institut d'automatique et télémécanique : *Avtomatika i telemekhanika*, A 2964.

— Id. Société panunioniste de botanique : *Botanitcheskiï Journal*, B 1486.

— Id. Société panunioniste d'entomologie : *Entomologitcheskoe obozrenie* (*Revue d'entomologie de l'U. R. S. S.*), E 534.

— Id. Société panunioniste de géographie : *Izvestija vsesoiouznogo geografitcheskogo Obchtchestva*, I 1147.

— Id. Société panunioniste de minéralogie : *Zapiski vsesoiouznogo mineralogitcheskogo Obchtchestva*, Z 41.

— Académie des sciences médicales : *Vestnik Akademii medicinskikh nauk SSSR*, V 217.

— Ministerstvo zdravookhranenia SSSR i RSFSZ (Ministère de la Santé publique) : *Sovetskaja medicina*, S 1137; *Sovetskoe zdravookhranenie*, S 1162; *Khirourgija*, K 119.

— Id. Khirourgitcheskoe Obchtchestvo pirogova : *Vestnik Khirourgii*, V 228.

— Société des naturalistes de Moscou : *Bioulleten' Moskovskogo Obchtchestva ispytateleï prirody* (*Otdel biologitcheskiï, geologitcheskiï*), B 782.

— Société mathématique : *Troudy Moskovskogo matematitcheskogo Obchtchestva*, T 955.

— Université : *Vestnik Moskovskogo Universiteta* (*Seria biologii, potchvovedenija, geologii, geografii; Seria matematiki, mekhaniki, astronomii, fiziki, khimii*), V 231.

— Université Lomonosof : *Outchenye Zapiski* (*Ornithologie*), U 18. **Sovetskaja Antropologija**, S 1125.

— Id. Institut astronomique Sternberg : [*Publications*]; *Soobchtchenija* (*Communications*), S 1040; *Troudy gosoudarstvennogo astronomitcheskogo Instituta imeni P. K. Sternberga*, T 882.

NOVOSIBIRSK. — Filiale orientale de l'Académie des sciences de l'U. R. S. S. : *Izvestija Sibirskogo otdelenija Akademii nauk SSSR* (*Geologija i geofizika*), I 1146.

PETROZAVODSK. — Académie des sciences de Carélie : *Izvestija Karel'skogo i Kol'skogo filialov Akademii nauk SSSR.*

POLTAVA. — Académie des sciences de l'Ukraine. Observatoire gravimétrique : *Troudy Poltavskoï gravimetritcheskoï Observatorii*, T 965.

POULKOVO. — Académie des sciences de l'U. R. S. S. (Glavnaia astronomitcheskaia Observatorija : *Izvestija*, I 1121 ; *Troudy*, T 879 ; *Troudy 13-ï astrometritcheskoï Konferenciï SSSR.*

RIGA. — Académie des sciences de Lettonie : *Latvijas PSR zinatnu akademijas izdevumu bibliografija; Latvijas PSR zinatnu akademijas Vestis* (*Izvestija*), L 114 ; *Vypousk literatury izdatel' stvom.*

— Id. Astrofizikas Laboratorija : *Atsevisks iespiedums; Vissavienibas astronomijas un geodezijas biedribas* (*Astronomiskais Kalendars*).

— Id. Institut biologii : *Mikroelementy v rastenievodstve.* (*Troudy laboratorii biokhimii potchv i mikroelementov.*)

SARATOV. — Ministère de l'Enseignement supérieur de l'U. R. S. S. Saratovskiï gosoudarstvennyï Universitet imeni N. G. Tchernychevskogo : *Outchenye Zapiski.*

SIMIEZ. — Krymskaja astrofizitcheskaja Observatorija : *Izvestija*, I 1123.

STALINABAD. — Académie des sciences du Tadjikistan. Astronomitcheskiï Sovet : *Bioulleten' komissii po kometam i meteoram astronomitcheskogo Soveta AN SSSR.*

— Id. Institut d'astrophysique : *Bioulleten' Instituta astrofiziki.*

— Id. Otdelenie estestvennykh nauk : *Troudy Instituta astrofiziki.*

— Id. Stalinabadskaja astronomitcheskaja Observatorija : *Troudy.*

SVERDLOVSK. — Académie des sciences de l'U. R. S. S. Filiale de l'Oural : *Fizika metallov i metallovedenie*, F 390.

TACHKENT. — Académie des sciences de l'Uzbékistan. Tachkentskaja astronomitcheskaja Observatorija : *Cirkuljar*, T 565.

TALLINN. — Académie des sciences de l'Esthonie : *Eesti loodus* (*Priroda Estonii*); *Emakeele seltsi Aastaraamat; Toimetised* (*Izvestija*) (*biologie, sciences sociales, sciences technique et physico-mathématique*), E 252.

— Id. Institut de chimie : [*Publications*].

— Id. Institut d'économie rurale (Majanduse Instituut) : [*Publications*].

— Id. Institut de géologie : *Eluta looduse kaitse; Geoloogia Instituudi Uurimused* (*Troudy*), G 241 ; *Tezisy dokladov;* [*Publications*].

— Id. Institut d'histoire : [*Publications*].

— Id. Institut de médecine expérimentale et clinique : *Tööhügieeni küsimusi Eesti NSV polevkivitööstuses* (*Voprosy gigieny trouda v slantsevoï promychlennosti Estonskoï SSR*; [*Publications*].

— Id. Société des Naturalistes. Section des sciences exactes : **Loodus ja matemaatika** (**Nature and mathematics**).

— Id. Société esthonienne de géographie : *Eesti geograafia seltsi aastaraamat* (*Annuaire*).

Tartu. — Académie des sciences de l'Esthonie. Institut de zoologie et de botanique : *Eesti NSV Floora*; **Entomoloogiline kogumik (Recueil d'entomologie)**; *Gidrobiologitcheskie issledovanija*; [*Publications*].

— Id. Institut physique et astronomique : *Troudy Instituta fiziki i astronomii*, F 822.

— Id. Observatoire astronomique : *Tartu astronoomia Observatooriumi Publikatsioonid*, P 1457.

— Id. Société naturaliste. Section ornithologiste : **Ornitoloogiline Kogumik (Ornitologitcheskiĭ Sbornik)**.

Tbilisi (Tiflis). — Académie des sciences de Géorgie : *Soobchtchenija* (*Communications*), S 1037 et S 141.

— Id. Institut de botanique : *Troudy Tbilisskogo botanitcheskogo Instituta*, T 972; *Zametki po sistematike i geografii rasteniĭ* (*Notulae systematicae ac geographicae instituti botanici Tphilissiensis*), Z 34; [*Publications*].

— Id. Institut de mathématiques A. M. Razmadze : *Troudy Tbilisskogo matematitcheskogo Instituta*, T 973.

— Institut de physique : *Troudy Instituta fiziki*.

— Id. Institut de zoologie : *Troudy*, T 936; [*Publications*].

Vilno. — Académie des sciences de Lithuanie : *Lietuvos TSR mokslu Akademijos Darbai* (*Troudy*), L 307.

— Id. Centrine Biblioteka : *Bibliografija*.

— Id. Lietuvos TSR geografine draugija (Société de géographie) : **Geografinis metrastis (Annuaire)**.

Yougoslavie.

Beograd. — Académie serbe des sciences (Srpska akademija nauk) : *Bulletin* (*classe des sciences médicales*), B 1860; *Glas* (*Comptes rendus*) (*odelenie medicinskikh nauka; odelenie prirodno-matematitchkikh nauk*); *Glasnik*, G 412; *Glasnik etnografskog Instituta; Godišnjak* (*Annuaire*), G 449; *Posebna izdania* (*Monographies*) (*odel'en'e medicinskikh nauka; odel'en'e prirodno-matematitchkikh nauka; odel'en'e tehnitchkikh nauka*); *Zbornik Radova* (*Revueil de travaux*).

— Id. Geografski Institut : *Zbornik Radova*.

— Id. Institut za medicinska istrajivan'a (Institut de recherches médicales) : *Zbornik Radova. Posebna Izdania* (*Monographies*).

— Id. Machinski Institut : *Zbornik Radova*.

— Id. Matematitchki Institut : *Publications*, P 1397; *Zbornik Radova*, S 1268.

— Institute of nuclear sciences « Boris Kidrich » : *Bulletin*, B 2 338.

— Observatoire astronomique : *Bulletin*, B 1908.

— Université. Faculté d'électrotechnique : *Publikacije elektrotehničkog Fakulteta* (*Serija matematika i fizika*), P 1458.

— Université. Faculté du Génie civil (Gradevinski Fakultet). Geodeski Institut : **Zbornik geodeskog Instituta**.

Ljubljana. — Geološki zavod L. R. Slovenije (Institut de recherches géologiques) : *Geologija Razprave in poročila* (*Traités et rapports*), G 227.

— Slovenska Akademija znanosti in umetnosti : *Letopis*, L 200.

— Id. Razred za matematične, fizikalne in techniče vede (classis III : *Dela (Institut za elektrisko gospodarstvo)*, S 864; *Razprave (Dissertations)*, S 864.

— Id. Razred za privodoslovne in medicinske vede (classis IV : Institut za geografijo) : *Geografski zbornik (Acta geographica)*, G 131.

— Id. Razred za prirodoslovne vede (classis IV : Historia naturalis) : *Razprave (Dissertationes)*, S 864.

OHRID. — Université de Skopje. Faculté de philosophie. Station hydrobiologique : *Sbornik na rabotite (Recueil de travaux)*, Z 60.

SARAJEVO. — Zavod za geološka istraživanja i ispitivanja gradevinskih materijala i Tla N. R. BiH (Institut des recherches géologiques et des études du matériel de construction et du sol) : *Geološki Glasnik (Bulletin géologique)*.

SKOPJE. — Université. Faculté de philosophie. Section des sciences naturelles : *Annuaire (Godichen zbornik)*, F 309.

ZAGREB. — Conseil des Académies de la R. P. F. Yougoslavie : *Bulletin scientifique*, C 1388.

— Društvo matematičara i fizičara N. R. Hrvatske (Societas mathematicorum et physicorum croatiæ) : *Glasnik matematičko-fizicki i astronomski (Periodicum mathematico-physicum et astronomicum)*, G 407.

— Hrvatsko kemijsko društvo (Croatian chemical Society) : *Croatica chemica acta (Arhiv za kemiju)*, C 1664.

— Hrvatsko prirodoslovno društvo (Societas scientiarium naturalium croatica) : *Glasnik (Periodicum mathematico-physicum et astronomicum)*, G 323.

— Jugoslavenske Akademie znanosti i umjetnosti : *Bulletin international*, B 2151; *Ljetopis*, L 432; *Posebna izdanja odjela za prirodne nauke; Predavanja odrzana u Jugoslavenskoj Akademiji*, P 851; *Prirodoslovna istraživanja kraljevine Jugoslavije*, P 915; *Rad*, R 22.

— Zavod za geološka istraživanja N. R. Hrvatske i Hrvatsko geološko Društva (Institut pour les recherches géologiques de la République populaire de Croatie et Société géologique croate : *Geološki Vjesnik*, G 243.

ASIE.

Ceylan.

COLOMBO. — Observatory. Climatological Section : *Report*.

— Voir LONDON. — Meteorological Office.

Chine.

PEKING. — Academia Sinica : *Science Record*, S 386; *Scientia sinica*, S 407.

— Id. Institute of scientific and technical information of China : **Sciences abstracts of China (Chemistry and chemical technology; Mathematical and physical sciences; Technical Sciences)**.

— National Library of Peking : *Acta botanica sinica*, C 709; *Acta chimica sinica*, H 493; *Acta geologica sinica; Acta mathematica sinica; Acta paleontologica sinica; Acta pedologica sinica*, A 374; *Acta physica sinica; Acta phytotaxonomica sinica*, A 393; *Acta zoologica sinica*, T 1012.

TAIPEI (FORMOSE). — Chinese association for the advancement of science : *Bulletin*, B 2 279.

— Chinese chemical Society : *Journal*, J 650, puis *Acta chimica sinica.*

— *Overseas Chinese Students in Free China.*

Inde.

AGRA. — Academy of Zoology : *The Annals of Zoology*, A 1565.

— University : *Journal of Research*, A 619.

ALLAHABAD. — Hindi Science Academy : *Vijnana Parishad Anusandhan Patrika* (*The research Journal of the Hindi science academy*).

— University mathematical Association : **Indian Journal of mathematics.**

BANGALORE. — Indian Academy of sciences : *Proceedings* (Sections A, B), P 1016.

CALCUTTA. — Botanical Society of Bengal : *Bulletin*, B 2 257.

— Geological Survey of India : *Memoirs* (*Palaeontologia Indica*), M 635; *Records*, R 258.

— Zoological Survey of India. Indian Museum : *Memoirs; Records*, R 262.

HOSHIARPUR. — Panjab University : *Research Bulletin* (*chemistry, mathematics, zoology*), R 571.

NEW DELHI. — The Council of scientific and industrial research : *Journal of scientific and industrial research* (*A-general; B-physical sciences and C-biological science*), J 563.

— Indian Council of medical research : *Special Report Series.*

— National Institute of science of India : *Proceedings* (A : *physical sciences*; B : *biological sciences*), P 1049.

Iran.

TÉHÉRAN. — Institut Razi : *Archives de l'Institut d'Hessarek*, A 2202.

Japon.

ABUYAMA. — Kyoto University. Abuyama seismological Observatory : *Seismological Bulletin.*

FUKUOKA. — Kyushu University. Faculty of Engineering : *Memoirs*, M 625.

— Id. Faculty of Science : *Memoirs* (Serie A : *Mathematics;* Serie B : *Physics*), M 631.

— Id. Research Institute for applied Mechanics : *Reports*, R 497.

HIROSHIMA. — University : *Journal of Science* (Série A) (*Mathematics, physics, chemistry*), J 562.

KANAZAWA. — University : *The Science reports*, S 388.

KAWASAKI-SHI. — Geological Survey of Japan : *Bulletin*, B 2 314; *Reports*, G 207.

KUMAMOTO. — University. Faculty of Science : *Kumamoto Journal of Science* (Série A : *Mathematics, Physics and Chemistry;* Série B : Section 1 : *Geology*), K 377.

KYOTO. — Japan Society for testing materials : *Proceedings of the first Japan Congress on testing materials.*

— Technical University. Faculty of industrial arts : *Memoirs (Science and technology)*, M 628.

— University. Abuyama seismological Observatory. — Voir ABUYAMA.

— Id. College of Science : *Memoirs* (Série A : *mathematics*; Série B : *physics*), M 615.

— Id. Id. Physico-chemical Society of Japan : *The Review of physical chemistry of Japan*, R 659.

— Id. Disaster prevention research Institute : *Bulletin*, D 429.

— Id. Engineering research Institute : *Technical reports*, T 134.

— Id. Faculty of Engineering : *Memoirs*, M 624.

— Id. Institute for chemical research : *Bulletin*, B 2 325.

— Id. Meteorological research Institute : *The meteorological notes.*

MAEBASHI. — Gunma University. School of medicine : *The Gunma Journal of medical sciences*, G 622.

NAGOYA. — University. Faculty of Science. Mathematical Institute : *Nagoya mathematical Journal*, N 55.

— Id. Medical School : *Nagoya medical Journal*, N 56.

OKAYAMA. — University. Department of mathematics : *Mathematical Journal*, M 324.

— Id. Faculty of sciences. Research Laboratory : *Reports of the research Laboratory for surface science.*

— Medical School : *Acta medicinæ Okayama*, A 324.

OOITA. — University. Faculty of liberal arts : *The research Bulletin (natural science).*

OSAKA. — Kinki University. Osaka Institute of science and technology : *Journal*, J 794.

— Id. The science Institution : **Proceedings**.

— Id. Society for the Research of theoretical Chemistry : *Science reports*, S 392.

— University. Department of Mathematics : *Osaka mathematical Journal*, O 371.

— Id. Faculty of Engineering : *Technology reports of the Osaka University*, T 167.

— Id. Faculty of Science : *Annual report of scientific works*, A 1483.

— Id. Institute of Polytechnics : *Journal*, J 721.

— Id. Institute for protein research : **Memoirs**.

SAPPORO. — Hokkaidô University. Faculty of Engineering : *Memoirs*, M 622.

— Id. Faculty of Science : *Journal*, J 679.

— Id. The Research Institute of applied electricity : *Monograph series.*

SENDAI. — Ecological Society of Japan : *Japanese journal of ecology.*

— Tohoku University : *Science Reports of the Tohoku University* (1rst Series : *Physics, Chemistry, Astronomy*; 2d Series : *Geology*; 3th Series : *Mineralogy, Petrology, Economic geology;* 4th Series : *Biology*), S 393 ; 6th Series : *Tohoku mathematical Journal*, T 529).

— Id. Biological Institute. The Mt Hakkôda botanical Laboratory : *Ecological Review*, S 524.

— Id. Faculty of Engineering : *The technology reports of the Tohoku University*, T 168.

— Id. Institute of geology and paleontology : *Contributions*, C 1491.

— Id. Research Institutes : *Science Reports* (Series A : *Physics, Chemistry and Metallurgy;* Series B : *Technology* (*the reports of the research Institute of electrical communication; Reports of the Institute of high speed mechanics*)], S 390.

Shizuoka. — University. Liberal arts and science Faculty : *Reports of liberal arts and csience Faculty* (*natural science*).

Tokyo. — Association of the Research Institutes for tuberculosis of national Universities in Japan : *The Japanese Journal of tuberculosis*, J 174.

— Astronomical Society of Japan : *Publications*, P 1423.

— Institute of electrical Communication Engineers of Japan : *The Journal*, D 147.

— Institute of electrical Engineers of Japan (Denki Gakkai) : *The Journal; Electrotechnical Journal of Japan*, E 374.

— Japan Academy : *Proceedings*, P 1030.

— Japan Society of mechanical Engineers : *Bulletin of JSME.*

— The Joint Publication Committee : *The Japan science Review* (*Mechanical and electrical engineering; Mining and metallurgy*), J 147.

— Mathematical Society of Japan : *Journal*, J 770.

— Ministry of education. Higher Education and Science Bureau. Scientific Information Section : *Handbook of learned Societies in Japan.*

— National hygienic Laboratory : *Bulletin.*

— National Institute of Health of Japan : *Japanese Journal of medical science and biology*, J 168.

— Natural Science Museum : *Bulletin of the national science Museum*, B 2 382; *Natural science and Museums*, S 681.

— Ochanomizu University : *Natural science report*, N 251.

— Operations Research Society of Japan : *Journal.*

— St Paul's University (Rikkyô Daigaku) : *Commentarii mathematici Universitatis Sancti Pauli* (*Rikkyô Daigakû Sugaku Zassi*), C 1119.

— Science Council of Japan : *Japanese Journal of geophysics.*

— Tokyo metropolitan University. Faculty of technology : *Memoirs*, M 632.

— Tokyo University of Education : *Science report of the Tokyo Kyoiku Daigaku* (Section A : *Mathematical Institute;* Section C : *Geology, Mineralogy and Geography*), S 394.

— Id. Institute of optical Research : *Science of Light*, S 383.

— Union of Japanese Scientists and Engineers : *Reports of Statistical application Research*, R 431.

— University of Fisheries : *Journal*, J 882.

— University of Tokyo. College of general education : *Scientific papers*, S 416.

— Id. Earthquake Research Institute : *Bulletin*, B 2 290.

— Id. Faculty of Engineering : *Journal*, J 673.

— Id. Faculty of Science : *Journal* (*Sections II : geology, mineralogy, geography, geophysics; IV : zoology*), J 680.

— Id. Institute for infectious diseases : *The Japanese Journal of experimental Medicine*, J 163.

— University. Tokyo Astronomical Observatory : *Annals*, A 1560; *Bulletin of Solar phenomena*, B 2 221 et T 535; *Reprints*, T 536; *Tokyo astronomical Bulletin*, T 534.

— Waseda University : *Reports of the Casting Research Laboratory*, R 437.

— Id. School of Science and Engineering : *Bulletin of Science and engineering Research Laboratory.*

TSU CITY. — Prefectural University of Mie. Faculty of Fisheries : *Journal*, J 675; *Report*, R 457.

— Id. School of Medicine : *Mie medical Journal*, M 907.

URAWA. — Saitama University : *The science reports* (Series A : *mathematics, physics and chemistry*), S 391.

YOKOHAMA. — Municipal University. Faculty of Arts and Science. Department of mathematics : *The Yokohama mathematical Journal*, Y 102.

— National University. School of Medicine : *Yokohama medical Bulletin*, Y 103.

Jordanie.

AMMAN. — Voir LONDON. — Meteorological Office.

Liban.

KSARA. — Observatoire : *Annales seismologiques*, A 1461; *Annales climatologiques.*

— Id. Service de climatologie : *Bulletin climatologique mensuel*, S 596.

Malaisie.

SINGAPORE. — Malayan meteorological service : *Summary of observations*, M 145; *Frequency Tables and Anemogram analysis*, F 751 et M 144.

Thaïland.

BANGKOK. — Department of science. The ninth Pacific science Congress : *Proceedings.*

Viet-Nam.

SAIGON. — Direction de la Météorologie du Viet-Nam : *Résumé du temps en Indochine; Résumé mensuel du temps*, T 381.

AFRIQUE.

Afrique Équatoriale française.

BRAZZAVILLE. — Direction des mines et de la géologie de l'A. E. F. : *Bulletin; Carte géologique de l'Afrique équatoriale française; Carte géologique de reconnaissance.*

— Institut d'études centrafricaines : *Bulletin.*

Afrique Occidentale française.

DAKAR. — Gouvernement général de l'A. O. F. Direction fédérale des mines et de la géologie : *Bulletin; Rapport annuel.*

— Institut français d'Afrique Noire : *Bulletin* (Série A : *Sciences naturelles;* Série B : *Sciences humaines*); *Initiations africaines; Mémoires; Protection de la nature.*

— Service de géologie et de prospection minière : *Bulletin; Carte géologique de reconnaissance; Notes; Rapport annuel,* (S 307[A]).

Départements de l'Algérie.

ALGER. — Institut Pasteur d'Algérie : *Archives,* (A 2116[3]).

— Université : *Publications scientifiques* (Série A : *Sciences mathématiques;* Série B : *Sciences physiques*).

Ascension.

Voir LONDON. — Meteorological Office.

Bechuanaland.

Voir LONDON. — Meteorological Office.

British West African.

LAGOS. — British West African meteorological services. Federation of Nigeria : *Meteorological note ; Monthly rainfall summary ; Monthly weather report,* M 1489 et N 613.

— Id. Sierra Leone : *Annual summary of observations,* B 13 et S 712; *Climatological observations; Rainfall observations; Rainfall summaries.*

— Geological Survey Department : *Annual report,* G 209.

LUNGI. — British West African meteorological services. Sierra Leone and Gambia : *Monthly weather report,* M 1490; *Rainfall observations.*

Cameroun.

YAOUNDÉ. — Direction des Mines et de la Géologie : *Bulletin.*

Congo belge.

BUKAVU. — Institut pour la recherche scientifique en Afrique centrale : *Folia scientifica Africæ centralis,* F 474; *Rapport annuel,* I 612.

LÉOPOLDVILLE. — Service géologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi : *Bulletin*, C 1359.

République de la Côte-d'Ivoire.

ABIDJAN. — Ministère des Finances, des Affaires économiques et du Plan. Service de la Statistique : *Bulletin mensuel de Statistique*.

Égypte.

CAIRO. — The Egyptian Academy of Sciences : *Proceedings*, P 1003.

Ghana.

ACCRA. — Ghana Meteorological Department : *Monthly summary of Rainfall; Monthly weather report*, M 1491.

Madagascar.

TANANARIVE. — Académie malgache : *Bulletin*.
— Ministère des Mines et de l'énergie. Service géologique : *Travaux du bureau géologique*; [*Publications*].
— Territoire de Madagascar : *Annales géologiques de Madagascar* (A 1101[a]).

Maroc.

CASABLANCA. — *Maroc médical*, M 251.
RABAT. — Administration des Eaux et Forêts et de la conservation des sols. Station de recherches forestières de Rabat : *Annales de la recherche forestière au Maroc*, A 1405.
— Institut scientifique chérifien. Service de physique du globe et de météorologie : *Annales*, A 1436.
— Service de la recherche agronomique et de l'expérimentation agricole : *Les Cahiers de la recherche agronomique*, C 64; [*Publications*].
— Société de géographie du Maroc : *Notes marocaines*, N 804.
— Société des sciences naturelles et physiques du Maroc : *Bulletin*, B 2010; *Comptes rendus des séances mensuelles*, C 1311; *Mémoires* (*Zoologie*), M 582; *Travaux de la Section de Pédologie*, T 780; *Travaux de l'Institut scientifique chérifien* (*Série botanique; Série zoologie*), T 778; [*Publications*].

Maurice (Ile).

PAMPLEMOUSSES. — Royal Alfred Observatory. — Voir LONDON. — Meteorological Office.

Port-Louis. — Mauritius Institute : *Annual Report*, M 351; *Bulletin*, M 352.
— Observatory Department : *Annual Report; Meteorological Observations and Climatological Summaries*, M 820.

Sainte-Hélène.

Voir London. — Meteorological Office.

Tanganyika.

Dodoma. — Geological Survey of Tanganyika : *Annual Report* (part I), T 47; *Bulletin*, G 211; *Maps; Memoir; Records*, R 261; [*Publications*].

Tunisie.

Ariana. — Service botanique et agronomique de Tunisie : *Annales*, A 1435; [*Publications*].
Tunis. — Institut Pasteur : *Archives*, A 2204.
— Société des sciences naturelles de Tunisie : *Mémoires*, M 581; *Procès-verbaux des séances mensuelles*, P 1100.

Union of South African.

Blœmfontein. — Nasional Museum : *Annual Report*.
Cape of Good Hope. — Royal Observatory : *Report of H. M. Astronomer at the Cape of Good Hope to the Secretary of the Amiralty*, R 423.
— Voir Grande-Bretagne : Hailsham. — Royal Greenwich Observatory.
Johannesburg. — Anglo-american corporation of South Africa limited : *Optima*, O 254.

AMÉRIQUE.

Argentine.

Buenos-Aires. — Academia argentina de geografia : **Anales**.
— Comisión nacional de energia atómica : *Publicaciones* (*Series fisica, quimica; Informe*), P 1342.
— Instituto nacional de tecnologia agropecuaria : *Revista de investigaciones agricolas*, R 848.
— Sociedad cientifica argentina : *Anales*, A 1244.
— Universidad. Facultad de ciencias exactas y naturales : *Contribuciones cientificas* (*Serie geologia*, **zoologia**), U 260.
Cordoba. — Academia nacional de ciencias : *Miscelánea*.

La Plata. — Universidad nacional. Facultad de ciencias fisicomatematicas : Publicaciones (Revista). P [illegible].

— Id. Observatorio astronomico : Publicaciones (Serie astronomica). O [illegible]; Serie circular; Separata astronomicas).

Santa-Fé. — Universidad nacional del Litoral. Facultad de Ingenieria quimica : Revista. R 807.

Brésil

Porto Alegre. — Museu Rio-Grandense de ciencias naturais : Iheringia (Serie Zoologia). I 78.

Rio-de-Janeiro. — Academia brasileira de ciencias : Anais. A 1150.

— Laboratorio hematologico : Arquivos de hematologia. A [illegible].

São Paulo. — Universidade. Faculdade de higiene e saúde pública : Arquivos. A 2486.

— Id. Faculdade de medicina veterinaria : Revista. R 745.

— Id. Instituto astronomico e geofisico : Anuario do Observatorio de S. Paulo. A 1044[1].

Canada

Montréal. — Association canadienne française pour l'avancement des sciences : *Annales de l'A.C.F.A.S.*, A 1207.

— Université : *Annuaire général*, U 325.

— Id. Institut de botanique : *Contributions*, C 1464.

— Id. Service de biogéographie : *Bulletin*, B [illegible].

Ottawa. — Department of mines and technical Surveys : *Annual Report*, [illegible].

— Id. Geological Survey of Canada : *Bulletin*; *Economic geology series*, G [illegible]; *Memoirs*.

— Dominion Observatory : *Contributions*, D [illegible]; *Publications*, P [illegible].

— National Museum of Canada : [illegible], *Bulletin* (*Anthropological series; Biological series*), N 180; *Guide book; Natural History Papers*.

Victoria. — Dominion astrophysical Observatory : *Contributions*, C [illegible]; *Publications*, P 1428.

Chili

Conception. — Sociedad chilena de quimica : *Boletin*, B 1067.

— Sociedad de biologia : *Boletin*, B 1070.

Santiago. — Universidad. Centro de investigaciones zoologicas : *Investigaciones zoologicas chilenas*, I 916.

— Id. Facultad de medicina. Instituto de biologia (Juan Noé) : *Biologica* (*Trabajos*), B 713.

Valparaiso. — Sociedad medica : *Revista medica de Valparaiso*, R 902.

Colombie

Bogota. — Academia colombiana de ciencias exactas, fisicas y naturales : *Revista*, R 840.

Cuba.

La Habana. — Ministerio de salubridad y asistencia social : *Cuadernos de historia sanitaria*, C 1702.
— Sociedad cubana de ciencias fisicas y matematicas : *Revista*, R 914.
— Sociedad cubana de historia de la medicina : *Revista*, R 915.
— Universidad. Comision de extension universitaria. Departamento de informacion, publicaciones e intercambio cultural : *Vida universitaria*, V 287.
— *Kuba, Revista de medicina tropical y parasitologia*, K 360.

Dominicaine (République).

Ciudad Trujillo (Saint-Domingue). — Secretaria de estado de industria y comercio: *Revista*.

États-Unis.

Albany. — University of the State of New York. N. Y. State Museum and Science Service : *Bulletin*, N 518; [*Publications*].
Baltimore. — American chemical Society : Voir Easton.
— Johns Hopkins University : *American Journal of Mathematics*, A 995; *Circular*, J 256 (*Graduate programs*).
Berkeley. — University of California : *Publications in Botany*, U 378; *in Economics*, U 383; *in Zoology*, U 401.
— Id. Lick Observatory : Voir Mount Hamilton.
Bloomington. — Indiana University. Goethe Link Observatory : *Publications*, P 1430; *Reprint*, G 462.
Boston. — American Academy of arts and sciences : *Dœdalus*, D 10; *Records*.
— University : **Astronomical contributions of Boston University** (Series I and II).
Boulder. — University of Colorado : *Bulletin*, U 412.
Cambridge. — Harvard College. Museum of comparative zoology : *Breviora*, B 1528; *Bulletin*, B 2 370.
— Harvard College Observatory : *Annual Report*, A 1707; *Harvard Reprint*, H 108.
Charlottesville. — University of Virginia : *Publications of the Leander Mc Cormick Observatory*, P 1436.
Chicago. — American Association for medical-physical Research : *The Journal of medical-physical Research*.
— Field Museum of Natural History : *Publications* (*Botanical Series*).
— Natural History Museum : *Annual Report*, C 703; *Fieldiana* (*Anthropology; Botany; Geology; Zoology*), F 245.
— *Bulletin of the atomic scientists*, B 2 251.
— *ETC. A Review of general Semantics*, E 618.
Columbus. — Battelle memorial Institute : *Publications* (U. S. Atomic Energy Commission).

EASTON. — American chemical Society : *Chemical abstracts*, C 644; *Journal*, J 594; *The Journal of organic chemistry* (Baltimore), J 525.

— American Society of mechanical Engineers : *Applied mechanics Reviews*, A 1098.

FREEPORT. — American physical Society : *Physical Review Letters*, P 479.

GAINESVILLE. — University of Florida. Florida State museum : *Bulletin of the Florida State Museum (Biological sciences)*, B 2 304; *Report of the Director*, F 415.

GENEVA. — Cornell University. N. Y. State agricultural experimental Station : *Bulletin*, N 507.

IOWA-CITY. — State University of Iowa : *Studies in Engineering Bulletin*, U 437.

LANCASTER. — American mathematical Society : Voir PROVIDENCE.

— American physical Society : *The Physical Review*, P 478.

LEMONT (ILLINOIS). — Argonne National Laboratory : [*Publications*].

LOS ALAMOS. — University of California. Los Alamos scientific Laboratory : [*Publications*].

MADISON. — Wisconsin Academy of sciences, arts and letters : *Transactions*, T 748.

MORGANTOWN. — West Virginia University. Southern Appalachian botanical Club. *Castanea (Journal)*, C 374.

MOUNT HAMILTON. — University of California. Lick Observatory : *Bulletin*, L 302.

NEW HAVEN. — American astronomical Society : *The astronomical Journal*, A 2 669.

— Yale University : *Publications in anthropology*, Y 34.

— *American Journal of Science*, A 1020.

NEW ORLEANS. — Tulane University of Louisiana : *Tulane Studies in zoology*, T 1004.

NEW YORK. — Academy of Sciences : *Annals*, A 1551 ; *Transactions*, T 720.

— American mathematical Society : Voir PROVIDENCE.

— American physical Society : Voir LANCASTER.

— American Society of mechanical engineers : Voir EASTON.

— The Pacific science council secretariat. International Geophysical Year : Voir WASHINGTON.

— Wenner-Gren foundation for anthropological research : *Report on the Foundation's activities for the year*, W 130; *Viking Fund Publications in anthropology*, V 329.

OAK RIDGE. — U. S. atomic energy Commission, U 190 : **Nuclear safety**; *Power reactor technology; Reactor core materials; Reactor fuel Processing; Research and development Report*.

— Id. Technical information service : *Nuclear science abstracts*, N 985; [*Publications*], U 190; *Translation series*.

— National Laboratory : [*Publications*].

PHILADELPHIA. — Academy of natural sciences : *Monographs; Notulae naturae*, N 890; *Proceedings*, P 960.

— American philosophical Society : *Memoirs*, M 607; *Proceedings*, P 971; *Transactions*, T 670.

— *Current Contents*.

PROVIDENCE. — American mathematical Society : *Mathematical Reviews*, M 325; *Transactions*, T 666.

READING. — *Addison-Wesley Newsletter*, A 488.

SAN FRANCISCO. — California Academy of Sciences : *Proceedings*, P 989; *Annual Report*, C 108.

SEATTLE. — History of science Society : *Isis*, I 996.

STANFORD. — University : *Publications (geological sciences)*, S 1316.

— Id. Natural history Museum : *Contributions from the Dudley Herbarium*, C 1485.

TROY. — Rensselaer polytechnic Institute : *Bulletin; Rensselaer Report.*

UPTON. — Brookhaven national Laboratory : *Progress report nuclear engineering department; Quarterly progress report*, B 1697 [*Publications*].

WASHINGTON. — Atomic energy Commission : [*Publications*], U 190.

— American chemical Society : Voir EASTON.

— Carnegie Institution. Department of terrestrial magnetism : *Annual report of the director*, C 331; *List of publications*, C 277.

— Department of Agriculture : *Agriculture information bulletin*, U 200; *Farmers' bulletin*, F 120; *Leaflet*, U 210; *Technical bulletin*, U 217.

— Id. Agricultural marketing Service : *The agricultural situation*, A 664.

— Id. Agricultural research Service and Soil conservation Service : *Production Research Report.*

— Id. Soil Conservation service : *Soil conservation*, S 1012; *Soil survey*, S 1017.

— Department of Commerce. National Bureau of Standards : *Circular*, N 150.

— Id. Weather Bureau : *Monthly Weather Review*, M 1494.

— Department of the Interior. Fish and Wildlife Service : *Commercial Fisheries Review*, C 1169.

— Id. Geological Survey : *Bulletin*, G 196; *Professional Paper*, G 215; *Publications; Suggestions to authors of the reports; Water Supply Paper*, G 216.

— National Academy of Sciences : *Biographical memoirs*, B 703; *Proceedings*, P 1046.

— Id. U. S. National Committee for the International Geophysical Year : *IGY Bulletin.*

— Id. National Research Council : *Publications.*

— U. S. Naval Observatory : *Circular*, U 235; *Reprint.*

— Id. Nautical Almanac Office : *The american ephemeris and nautical Almanac*, A 937.

— Smithsonian Institution : *Smithsonian miscellaneous Collections*, S 901.

— Id. Astrophysical Observatory : *Smithsonian contributions to astrophysics*, S 897.

— Id. U. S. National Museum : *Annual Report*, U 232; *Bulletin*, U 233; *Proceedings*, P 1093.

YONKERS. — Boyce Thompson Institute for plant research : *Contributions*, C 1471.

Mexique.

MEXICO. — Academia nacional de ciencias (ancienne Société scientifique Antonio Alzate) : *Memorias y revista*, M 693.

— Comision nacional de energia nuclear : [*Publications*].

— Sociedad mexicana de historia natural : *Revista*, R 924.

— Universidad nacional autonoma. Instituto de geologia : *Anales*, A 1273; *Paleontologia mexicana;* [*Publications*].

Pérou.

LIMA. — Academia nacional de ciencias exactas, fisicas y naturales : *Actas*, A 448.

— Institut français d'études andines : *Travaux*, T 777.
— Sociedad nacional de mineria y petroleo : *Boletin*, B 1085.
— Universidad nacional mayor de San Marcos. Facultad de ciencias : *Revista de ciencias*, R 777.

Uruguay.

MONTEVIDEO. — Facultad de ingenieria y agrimensura. Instituto de matematica y estadistica : *Publicaciones*, P 1359.
— Fundacion procardias : *Sistole*, S 770.

Vénézuéla.

CARACAS. — Asociacion venezolana para el avance de la ciencia : *Acta cientifica venezolana*, A 255.
— Colegio de ingenieros de Venezuela : *Revista*, R 1002.
— Fundacion Venezolana para el Avance de la Ciencia : *Funda VAC, Boletin informativo*.
— Instituto nacional de nutricion : *Archivos venezolanos de nutricion*, A 2358.
— Museo de ciencias naturales : *Boletin*, B 1163.
— Sociedad Latino-Americana de anatomia patologica : *Revista latino-americana de anatomia patologica*.
— Universidad central de Venezuela. Facultad de ciencias. Escuela de biologia : *Acta biologica Venezuelica*, A 239.
MARACAÏBO. — Sociedad Medico-Quirurgica del Zulia : *Revista*.
Universidad del Zulia : **Revista** (**Segunda Epoca**), C 832.

OCÉANIE.

Australie.

ADÉLAÏDE. — Institute of medical and veterinary science : *Annual report of the Council*, I 647.
— University : *The australian Journal of experimental Biology and medical science*, A 2855.
BRISBANE. — University of Queensland : *Papers* (*Department of Botany*, U 517; **of Dentistry**; *of Geology*, U 519).
CANBERRA. — Australian National University : *Annual Report*.
— Division of national mapping. Department of national development : *Australian antarctic territory* (*cartes*).
MELBOURNE. — National Museum of Victoria : *Memoirs*, M 645.
SYDNEY. — Observatory : *Astrographic Catalogue* 1900.0 (*Sydney Section*), A 2660; *Melbourne astrographic Catalogue; Papers*.
— Royal Society of New South Wales : *Journal and Proceedings*, J 288.

Hawaï.

HONOLULU. — Pacific science Association : *Information Bulletin*, P 36; *Review of publications*.

— Pacific science Council. Committee for the International Geophysical Year : Voir WASHINGTON.

Indonésie.

BOGOR. — Herbarium Bogoriense. Kebun Raya Indonesia : *Reinwardtia*, R 336.

— Museum zoologicum Bogoriense : *Treubia*, T 808.

DJAKARTA. — Council for sciences of Indonesia (Madjelis ilmu pengetahuan Indonesia) : *Indonesian Abstracts; Laporan kongres ilmu pengetahuan nasional pertama*.

Nouvelle-Calédonie.

NOUMÉA. — Service des Mines et de la Géologie : **Bulletin géologique de la Nouvelle-Calédonie.**

FIN DU TOME DEUX CENT CINQUANTIÈME.